

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektrotechniky

**Vyvedení lokálních zdrojů elektrické energie
průmyslového areálu do distribuční sítě**

**Outgoing of local industrial power sources into the
distribution network**

2019

Bc. Lukáš Hána

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Hána**

Studijní program: N2661 Projektování elektrických systémů a technologií

Téma: **Vyvedení lokálních zdrojů elektrické energie průmyslového areálu do distribuční sítě**
Outgoing of local industrial power sources into the distribution network

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Charakterizujte typy decentralizovaných zdrojů energie a jejich vlastnosti.
2. Srovnajte požadavky provozovatelů distribučních soustav pro jejich připojení a popište dispečerské řízení.
3. Navrhněte úpravu vstupní rozvodny pro připojení lokálních zdrojů elektrické energie vybraného průmyslového areálu s ohledem na požadavky zvoleného provozovatele.
4. Navrhněte elektrickou výzbroj a dimenzujte silové nízkonapěťové, datové a signální kabely.
5. Proveďte analýzu zatížení transformátorů pro možné případy dodávek energie z lokálních zdrojů.
6. Vypracujte technickou zprávu projektu a proveďte jeho zhodnocení.

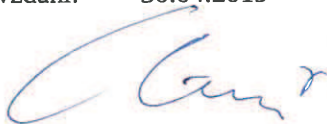
Seznam doporučené odborné literatury:
podle pokynů vedoucího práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Orság, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019


doc. Ing. Vítězslav Stýskala, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě, dne 30.4.2019

.....
Bc. Lukáš Hána

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat především panu Ing. Petru Orságovi, Ph.D., jakožto vedoucímu mé diplomové práce, za cenné rady, podněty a připomínky při vypracování této práce.

Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům Daně Hánové a Zdeňku Hánovi a své snoubence MVDr. Tereze Kovářové za podporu během celé doby mého studia.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou vyvedení lokálních zdrojů elektrické energie do distribuční sítě. Pro teoretické uvedení do problematiky jsou v první části práce popsány decentralizované zdroje elektrické energie, požadavky na jejich připojení k distribuční soustavě a dispečerské řízení těchto zdrojů. Druhá část práce je částí praktickou, ve které je řešen návrh typového projektu dispečerského řízení lokálních zdrojů a analýza zatížení transformátorů pro možné případy dodávek energie z těchto zdrojů.

Klíčová slova

Dispečerské řízení, decentralizované zdroje, regulace výkonu, typový projekt, E.ON, ČEZ, analýza zatížení, ATPDraw

Abstract

This master's thesis tackles the issue of outgoing of local power sources into the distribution network. In the first part of the thesis, decentralized power sources, requirements for their connection into the distribution network and dispatching control of these sources are described for the theoretical introduction to the issue. The practical part of this thesis deals with solving a proposition of a sample project of dispatching control of local power sources and transformer load analysis for possible supply of energy from these sources.

Key Words

Dispatching control, decentralized power sources, power control, sample project, E.ON, ČEZ, load analysis, ATPDraw

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	9
Seznam ilustrací.....	11
Seznam tabulek.....	12
1 Úvod.....	13
2 Cíle práce.....	14
3 Decentralizovaná výroba elektrické energie.....	15
3.1 Fotovoltaické elektrárny	15
3.1.1 Autonomní systémy.....	16
3.1.2 Systémy připojené k elektrické síti	16
3.1.3 Hybridní systémy	17
3.2 Vodní elektrárny	17
3.2.1 Průtočné vodní elektrárny	17
3.2.2 Akumulační vodní elektrárny.....	18
3.3 Energie z biomasy.....	19
3.3.1 Spalovny biomasy	19
3.3.2 Bioplynové stanice	19
3.4 Kogenerační jednotky	20
3.5 Větrné elektrárny	21
3.6 Shrnutí.....	23
4 Připojení lokálních zdrojů do distribuční soustavy	24
4.1 Dispečerské řízení.....	24
4.2 Požadavky na zařízení distribuční řídicí techniky	25
4.2.1 Požadavky PDS ČEZ	26
4.2.2 Požadavky PDS E.ON.....	28
4.2.3 Srovnání požadavků PDS ČEZ a E.ON	30
5 Návrh dispečerského řízení lokálních zdrojů.....	32
5.1 Vstupní údaje	32
5.2 Trafostanice - rozvodna VN	33
5.3 Trafostanice - rozvodna NN	36
5.4 Budovy B, C a D.....	36

5.5 Budova A	38
5.6 Popis rozvaděčů	40
5.6.1 +AXY01 - řídicí systém E.ON	40
5.6.2 +DTR0 - hlavní řídicí jednotka	41
5.6.3 +DTR4 - řídicí jednotka trafostanice.....	42
5.6.4 +DTR1, +DTR2 a +DTR3 - řídicí jednotky FVE2, FVE3 a FVE4	43
5.6.5 +ANU - zálohovaný zdroj 24 VDC.....	43
5.7 Přenos dat.....	44
5.8 Zhodnocení projektu	46
6 Analýza zatížení transformátorů	47
6.1 Nastavení obvodových prvků	48
6.1.1 VN síť.....	48
6.1.2 Kabely VN.....	50
6.1.3 Transformátory.....	50
6.1.4 Zátěž.....	51
6.1.5 Lokální zdroje	52
6.1.6 Kabely NN.....	53
6.2 Výsledky	54
7 Závěr	56
Literatura	57
Přílohy	59

Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratky

ČEZ	ČEZ Distribuce, a.s.
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
DŘS	Dispečerský řídicí systém
DŘT	Dispečerská řídicí technika
DS	Distribuční soustava
E.ON	E.ON Distribuce, a.s.
EN	Evropská norma
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie
FV	Fotovoltaický
FVE	Fotovoltaická elektrárna
HDO	Hromadné dálkové ovládání
KGJ	Kogenerační jednotka
LPG	Liquified Petroleum Gas = zkapalněný ropný plyn
MTN	Měřicí transformátor napětí
MTP	Měřicí transformátor proudu
MVE	Malá vodní elektrárna
MVtE	Malá větrná elektrárna
NN	Nízké napětí
OM	Obchodní měření
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
PNE	Podniková norma pro energetiku
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy
PPS	Provozovatel přenosové soustavy
PRE	PREdistribuce, a.s.
PS	Přenosová soustava
RTU	Remote terminal unit = vzdálená terminálová jednotka
TUV	Teplá užitková voda
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí

Veličiny

A_m	(–)	Průzračnost atmosféry
c	(–)	Napěťový součinitel

$\cos \varphi$	(–)	Účíník
E	(kW/m ²)	Energie
f	(Hz)	Frekvence sítě
I	(A)	Efektivní hodnota proudu
I_k''	(A)	Počáteční rázový zkratový proud
I_n	(A)	Jmenovitý proud
I_{th}	(A)	Ekvivalentní oteplovací proud
K	(–)	Materiálová konstanta
k_e	(–)	Koeficient pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu
L_Q	(H)	Indukčnost sítě
P	(W)	Činný výkon
P_n	(W)	Jmenovitý výkon
Q	(VAr)	Jalový výkon
R_Q	(Ω)	Odpor sítě
S	(VA)	Zdánlivý výkon
S_k	(VA)	Zkratový výkon
S_n	(VA)	Jmenovitý zdánlivý výkon
S_{min}	(mm ²)	Minimální průřez vodiče
T	(°C)	Teplota
t_k	(s)	Doba trvání zkratu
U	(V)	Efektivní hodnota napětí
U_n	(V)	Jmenovité napětí
X_Q	(Ω)	Reaktance sítě
Z_Q	(Ω)	Zkratová impedance sítě

Seznam ilustrací

Obr. 3.1: Princip fotovoltaického článku	15
Obr. 3.2: Průtočná vodní elektrárna	18
Obr. 3.3: Přecherčpávací vodní elektrárna.....	18
Obr. 3.4: Porovnání oddělené a kombinované výroby	20
Obr. 3.5: Kogenerační jednotka se spalovacím motorem.....	21
Obr. 3.6: Příklad zapojení malé větrné elektrárny.....	22
Obr. 3.7: Vertikální turbína.....	22
Obr. 3.8: Kombinovaná elektrárna	23
Obr. 4.1: Hierarchie dispečerského řízení elektrických sítí v ČR	25
Obr. 4.2: Rozložení působnosti PDS v ČR	26
Obr. 4.3: Skříň AXY01	28
Obr. 5.1: Půdorys trafostanice.....	32
Obr. 5.2: Vybavení skříňky +MXTV	34
Obr. 5.3: Jednopolové schéma rozvaděče VN	35
Obr. 5.4: Kobka měření rozvaděče VN.....	35
Obr. 5.5: Vybavení skříňe +DTR4.....	36
Obr. 5.6: Vybavení skříňe +DTRn (n=1, 2, 3)	38
Obr. 5.7: Část půdorysu budovy A.....	39
Obr. 5.8: Vybavení skříňi +DTR0 a +AXY01	40
Obr. 5.9: Přenos dat dispečerského řízení	44
Obr. 5.10: Přenos dat mezi skříňemi DTR.....	45
Obr. 6.1: Simulační schéma	47
Obr. 6.2: Vybraný prvek pro síť VN a nastavení jeho parametrů v ATPDraw	49
Obr. 6.3: Vybraný prvek pro vnitřní impedanci sítě a nastavení jeho parametrů v ATPDraw	49
Obr. 6.4: Vybraný prvek pro transformátory a nastavení jeho parametrů v ATPDraw	51
Obr. 6.5: Vybraný prvek pro zátěž a nastavení jeho parametrů v ATPDraw.....	51
Obr. 6.6: Vybraný prvek pro lokální zdroje a nastavení jeho parametrů v ATPDraw	52
Obr. 6.7: Vybraný prvek pro NN kabely a nastavení jeho parametrů v ATPDraw.....	53
Obr. 6.8: Zatížení transformátoru 1 při 100% dodávce.....	54
Obr. 6.9: Zatížení transformátoru 2 při 100% dodávce.....	54

Seznam tabulek

Tab. 3.1: Přehled základních OZE využívaných v ČR.....	15
Tab. 5.1: Parametry MTN	33
Tab. 5.2: Parametry MTP	34
Tab. 5.3: Minimální průřezy měděných vodičů měření	34
Tab. 5.4: Parametry MTP pro FVE	37
Tab. 5.5: Minimální průřezy měděných vodičů měření pro zdroje do 250 kW	37
Tab. 5.6: Parametry MTP pro KGJ	39
Tab. 6.1: Parametry sítě VN.....	49
Tab. 6.2: Parametry kabelů VN.....	50
Tab. 6.3: Parametry transformátorů	50
Tab. 6.4: Parametry zátěží.....	51
Tab. 6.5: Parametry lokálních zdrojů	52
Tab. 6.6: Parametry kabelů NN.....	53
Tab. 6.7: Zatížení transformátorů.....	55

1 Úvod

Spotřeba elektrické energie celosvětově neustále roste, a to i přesto, že jsou zaváděny nové energeticky úspornější technologie a účinnější spotřebiče. V současné době je většina elektrické energie vyráběna v jaderných a tepelných elektrárnách, kde je jako palivo využíváno zejména uhlí, zemní plyn a uran, ovšem zásoby těchto surovin nejsou nevyčerpatelné. S ohledem na tuto skutečnost začala Evropská unie ve velké míře podporovat obnovitelné zdroje energie.

V důsledku výše uvedeného dochází nejen v ČR k vysokému nárůstu nových zdrojů elektrické energie připojených do elektrizačních soustav, především pak do distribuční soustavy vysokého a nízkého napětí. Jelikož mohou být tyto zdroje připojeny teoreticky v kterékoliv části sítí VN a NN (umístěním do blízkosti spotřeby), nazývají se decentralizované (rozptýlené).

Díky velké dostupnosti a vysokým dotacím na výstavbu jsou jako decentralizované zdroje nejvíce využívány fotovoltaické elektrárny, dále pak vodní elektrárny, zdroje na bioplyn, kogenerační jednotky (převážně na zemní plyn, ale v menší míře i na bioplyn, LPG, důlní plyn, kalový plyn a skládkový plyn) a větrné elektrárny.

Připojení většího počtu zdrojů do sítě představuje vysoké nároky na kontrolu a řízení distribuční soustavy. I z tohoto důvodu je nutné u výroben s instalovaným výkonem do 100 kW umožnit dálkové odpojení výroby od distribuční soustavy a výroby s instalovaným výkonem od 100 kW začlenit do systému dálkového řízení provozovatele distribuční soustavy, tzv. dispečerského řízení.

2 Cíle práce

Cíle diplomové práce vychází ze zadání a jsou to prakticky body v něm vyjmenované:

1. Charakteristika decentralizovaných zdrojů elektrické energie a jejich vlastností.
2. Srovnání požadavků provozovatelů distribučních soustav pro připojení těchto zdrojů do dané soustavy a popis dispečerského řízení.
3. Návrh úpravy vstupní rozvodny pro připojení lokálních zdrojů elektrické energie vybraného průmyslového areálu s ohledem na požadavky zvoleného provozovatele.
4. Návrh elektrické výzbroje a dimenze kabelů.
5. Analýza zatížení transformátorů pro možné případy dodávek energie z lokálních zdrojů.
6. Vypracování technické zprávy projektu a jeho zhodnocení.

3 Decentralizovaná výroba elektrické energie

Při centrální výrobě elektrické energie se cca 13,5 % této energie ztratí při dopravě k zákazníkovi. Tuto ztrátu lze snížit využitím decentralizované výroby elektrické energie, tj. jejím umístěním do blízkosti spotřeby. Za decentralizované zdroje jsou považovány veškeré zdroje připojené do sítí VN a NN. Jedná se především o obnovitelné zdroje energie a mikrokogenerační jednotky na zemní plyn.

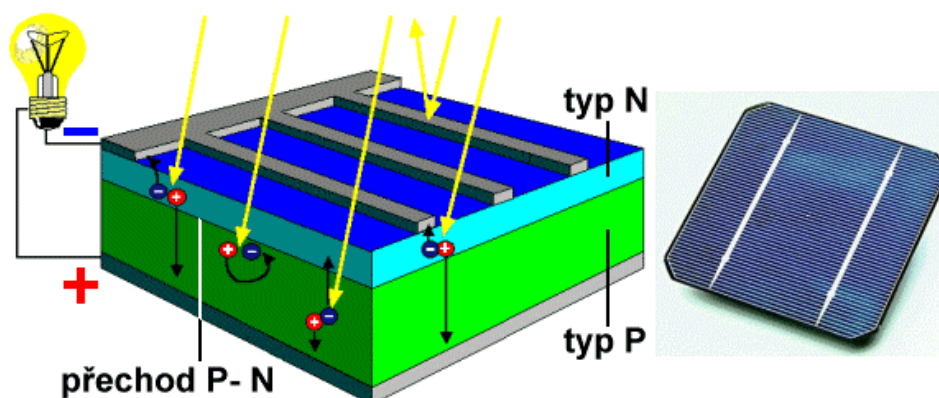
Tab. 3.1: Přehled základních OZE využívaných v ČR ^[1]

Zdroj energie	Elektrická energie
voda	vodní elektrárny
biomasa	bioplynové stanice, spalovny biomasy
slunce	fotovoltaické elektrárny
vítr	větrné elektrárny

Podle statistik ERÚ je nejvíce zdrojů solárních, vodních a poté zdrojů na bioplyn. Následují kogenerační jednotky a větrné elektrárny. ^{[2][3]}

3.1 Fotovoltaické elektrárny

Principem fotovoltaické elektrárny jsou sluneční paprsky dopadající na FV panely, složené z jednotlivých FV článků, které vyrábějí stejnosměrný proud. Základem FV článků je polovodičová dioda. Dopadem fotonů slunečního záření vzniká tzv. fotovoltaický jev. Energie slunečního paprsku vybudí elektrony valenční sféry uvolněné z molekuly. Volné elektrony se záporným nábojem putují k anodě, která je na povrchu FV článku, a díry s kladným nábojem putují ke katodě. Takto vyrobená stejnosměrná energie se využívá přímo, nebo je častěji pomocí střídače přeměněna na energii střídavou.



Obr. 3.1: Princip fotovoltaického článku ^[8]

Vyrobená elektrická energie se může vyvést do místní rozvodné sítě, což je v současné době nevýhodné, jelikož výkupní ceny za elektřinu dodané do sítě jsou nízké. Výhodnější je spotřebovat vyrobenou energii přímo v místě výroby, např. pro částečné pokrytí spotřeby rodinného domu.

Výhody:

- Možnost využít i tam, kde není možné zajistit elektrickou přípojku k rozvodné síti, např. chaty, zahradní domky, karavany, lodě apod.,
- možnost fotovoltaiku začlenit přímo do stavebních prvků budov (integrace do fasád, zasklení, střešních krytin),
- dlouhá životnost,
- bezhlučný provoz.

Nevýhody:

- Využití sluneční energie je velmi závislé na denní době, ročním období a oblačnosti (celková doba slunečního svitu se v ČR odhaduje na 1400 - 1800 hodin za rok),
- poměrně velké vstupní investice.

Z hlediska aplikace můžeme FVE rozdělit na **systémy autonomní, hybridní a přímo připojené k elektrické síti.** ^{[1][4][7][8]}

3.1.1 Autonomní systémy

Nazývají se „Grid-off“ nebo také „ostrovní“ systémy a jejich využití je převážně v místech, kde není dostupná veřejná elektrorozvodná síť.

Skládají se z FV modulů, akumulátorové baterie a ochranného obvodu, který ji chrání před nadměrným vybitím nebo přebitím, případně u větších systémů i z měniče napětí. Lze k nim připojit spotřebiče napájené stejnosměrným proudem (většinou 12 nebo 24 V), případně běžné síťové spotřebiče napájené pomocí napětíového střídače.

Autonomní systémy se využívají např. jako zdroj elektrické energie pro chaty, napájení dopravní signalizace, u zahradního osvětlení a světelné reklamy. ^[4]

3.1.2 Systémy připojené k elektrické síti

Nazývají se „Grid-on“ systémy a jejich výhodou oproti „Grid-off“ systémům je, že veškerá vyrobená elektrická energie se zpracuje.

Skládají se z většího množství FV modulů, měniče napětí, zařízení pro měření a regulaci a síťové ochrany. Připojení do elektrizační soustavy může být provedeno ve dvou variantách:

- **Přímý výkup** - veškerá vyrobená elektrická energie je dodávána do distribuční sítě a prodávána za tzv. výkupní cenu.

- **Zelený bonus** - převážná část vyrobené elektrické energie je využita pro vlastní spotřebu objektu a případné přebytky jsou prodávány distribuční společnosti. Je to nejjednodušší cesta k připojení FVE do distribuční soustavy, bez nutnosti zřizování nového odběrného místa. ^{[4][9]}

3.1.3 Hybridní systémy

Je to v podstatě kombinace „Grid-on“ a „Grid-off“ systému, kdy oproti systémům „Grid-on“ mají tyto systémy výhodu v maximálním využití vyrobené energie v místě výroby, a to ve formě elektrické energie, pro vytápění, ohřev TUV, provoz bazénu, klimatizace, zavlažování atd. ^[4]

3.2 Vodní elektrárny

Ve vodních elektrárnách voda roztáčí turbínu, která je na společné hřídeli s elektrickým generátorem (dohromady tzv. turbogenerátor). Mechanická energie proudící vody se tak mění na elektrickou. Velikost získané energie je závislá především na spádu vodního toku a průtočném množství vody.

Pro decentralizovanou výrobu el. energie jsou nejčastěji využity tzv. malé vodní elektrárny (zdroje el. energie s instalovaným výkonem do 10 MW), díky kterým se zvyšuje využitelnost vodní energie v ČR.

Výhody:

- Minimální dopad na životní prostředí, neznečišťují ovzduší a jsou bezodpadové,
- nedevastují krajinu a povrchové či podzemní vody těžbou a dopravou paliv a surovin,
- schopnost rychlého nastartování, tzn. možnost operativního spuštění v případě aktuální potřeby,
- vysoká účinnost.

Nevýhody:

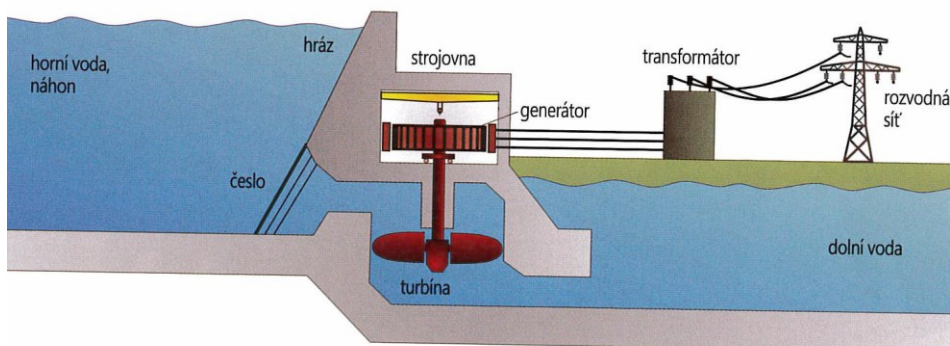
- Závislost na stabilním průtoku vody,
- použití jen na místech s optimálním průtokem a spádem,
- složitá výstavba a instalace.

Podle způsobu provozu můžeme vodní elektrárny rozdělit na **průtočné** a **akumulační**. ^{[1][4][5]}

3.2.1 Průtočné vodní elektrárny

Pro MVE je tento typ vodních elektráren nejběžnější. Staví se na vodních tocích obvykle v místě jezu. Jez nebo hráz zajistí menší zvýšení vodní hladiny, čímž se zvýší spád. Před vstupem do kanálu prochází voda soustavou česel, což jsou síta, která zabraňují proniknutí nečistot a ryb k turbíně. Výkon

závisí na aktuálním průtoku a rozdílu hladin před a za turbínou, tzn. v době extrémního sucha, kdy je malý průtok, nebo při povodních, kdy dojde k vyrovnání hladin, jsou MVE mimo provoz. [6]

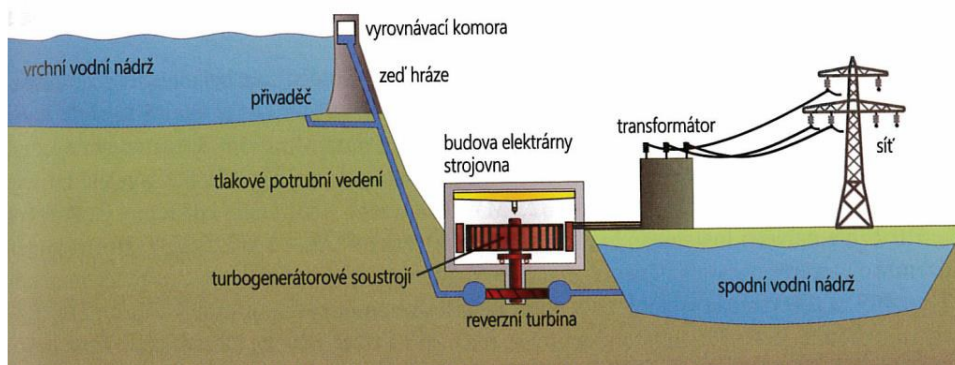


Obr. 3.2: Průtočná vodní elektrárna [6]

3.2.2 Akumulační vodní elektrárny

Ke své činnosti potřebují vhodný prostor umožňující akumulaci potenciální energie vody. Takový akumulací prostor může být buď přírodní nebo umělý. Přírodním akumulacím prostorem jsou jezera a umělým přehrady. Vodní elektrárna získá vyšší spád a zároveň může svůj výkon měnit podle potřeby. Akumulační elektrárny pracují zpravidla ve špičkové nebo pološpičkové části denního diagramu zatížení. Výkony těchto elektráren dosahují až tisíce MW a proto většinou nespadají do MVE.

Příkladem akumulacích elektráren jsou **přečerpávací vodní elektrárny**, které slouží převážně pro pokrytí špičkových zatížení. Přečerpávací elektrárna se skládá ze dvou nádrží umístěných nad a pod elektrárnou a spojených potrubím. V době největší spotřeby je voda z horní nádrže přepouštěna do spodní a vyrábí elektrickou energii. V době nízkého zatížení je voda z dolní nádrže přečerpávána do nádrže horní. [4][6]



Obr. 3.3: Přečerpávací vodní elektrárna [6]

3.3 Energie z biomasy

Biomasa je obecně myšlena veškerá organická hmota na naší planetě, která pochází zpravidla z pěstování rostlin, chovu živočichů, produkce organického původu, a jiných organických odpadů.

Jako energetická biomasa jsou většinou považovány rostliny, které zachytí sluneční energii a uloží ji ve formě chemické energie. Především se jedná o **rychle rostoucí dřeviny** (topol, vrba, olše, akát atd.) a **rostliny bylinného charakteru** (konopí, šťovík, kostřava atd.), dále pak travní porosty, obiloviny, olejnaté rostliny.

Elektrická energie je z biomasy získávána spalováním nebo pomocí bioplynových stanic. Podle vlhkosti (obsahu sušiny v biomase) můžeme biomasu rozdělit na suchou a vlhkou. Suchá biomasa má obsah sušiny větší než 50 % a jde ji spalovat přímo, naopak vlhká biomasa má obsah sušiny menší než 50 % a spalovat přímo ji nelze, využívá se k výrobě bioplynu.

Výhody:

- Množství uvolněného oxidu uhličitého při spalování biomasy je spotřebováno při dalším růstu rostlin,
- možnost dlouhodobého skladování,
- možnost využití fermentačního zbytku z provozu bioplynových stanic jako vysoce kvalitní organické hnojivo.

Nevýhody:

- Nutnost skladovacích prostor,
- u bioplynových stanic nepříjemný zápach,
- velká finanční náročnost při zakládání plantáží rychle rostoucích dřevin. ^{[1][4][10]}

3.3.1 Spalovny biomasy

Spalování je termochemický proces, při kterém dochází k rozkladu organického materiálu na hořlavé plyny a jiné látky a při následné oxidaci se uvolňuje energie, oxid uhličitý a voda. Na rozdíl od fosilních paliv má spalování biomasy prakticky nulovou bilanci oxidu uhličitého.

Pro energetické použití se dřevo tzv. štěpkuje, piliny se lisují do pelet a briket. Sláma se lisuje nebo se z ní vyrábějí brikety a granule. ^{[10][11]}

3.3.2 Bioplynové stanice

Ve fermentačních nádobách jsou uloženy organické materiály bez přístupu vzduchu. Tyto materiály při fermentaci produkují bioplyn, který je následně využit jako palivo pro výrobu elektrické energie. ^[12]

3.4 Kogenerační jednotky

Pojmem kogenerace rozumíme kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla. Podíl vyrobené el. energie je 30-40 % ku 70-60 % vyrobeného tepla. Kogenerační jednotku je možné doplnit o chladicí jednotku a vyrábět tak kromě el. energie a tepla i chlad, v takovém případě hovoříme o trigeneraci.

Běžná výroba el. energie nejčastěji probíhá v uhelných či jaderných elektrárnách, kde vzniká velké množství nevyužitelného tepla a to je vypouštěno do ovzduší. Výroba el. energie tak vyžaduje větší množství paliva než u kombinované výroby.



Obr. 3.4: Porovnání oddělené a kombinované výroby ^[15]

Výhody:

- Vysoká účinnost využití energie obsažené v palivu a díky tomu úspora paliva,
- snížení emisí skleníkových plynů,
- u decentralizované výroby snížení nebo úplné odstranění přenosových a distribučních ztrát,
- možnost využití jako záložního zdroje při výpadku elektřiny.

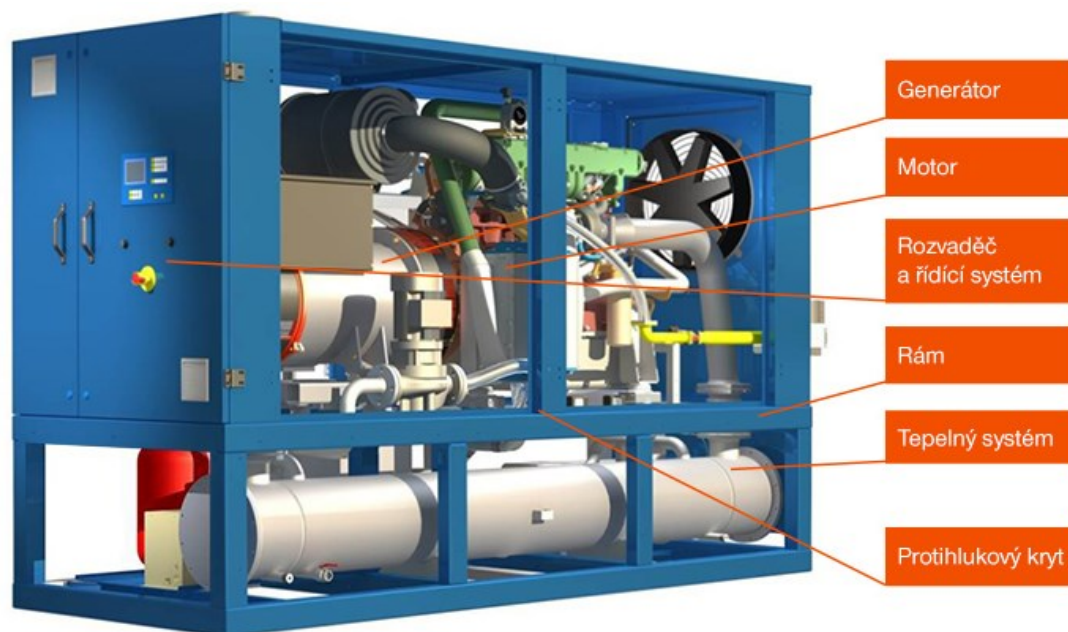
Nevýhody:

- Poměrně vysoké investiční náklady,
- hluknost, nutno zajistit ochranu.

Pro kombinovanou výrobu el. energie a tepla lze využít téměř všechna dostupná paliva a energetické zdroje, např. tuhá, kapalná i plynná fosilní paliva, biomasu, komunální a jiné odpady nebo geotermální energii.

Mezi primární jednotky používané pro kogeneraci patří:

- Spalovací motory (nejpoužívanější, nejčastěji na zemní plyn)
- Parní turbíny
- Plynové turbíny
- Plynové motory
- ORC cyklus (patří mezi zdroje spalující biomasu)
- Palivové články



Obr. 3.5: Kogenerační jednotka se spalovacím motorem ^[15]

Základem každé kogenerační jednotky je soustrojí motor-generátor. Generátor je synchronně roztáčen a vytváří tak napětí o frekvenci 50 Hz, což umožňuje bezproblémové vyvedení el. energie do distribuční soustavy. Motor i generátor produkují teplo, které je vodou odváděno přes oddělovací výměník do topného systému. Zdroj energie je tak využit dvakrát a účinnost zařízení je podstatně vyšší.

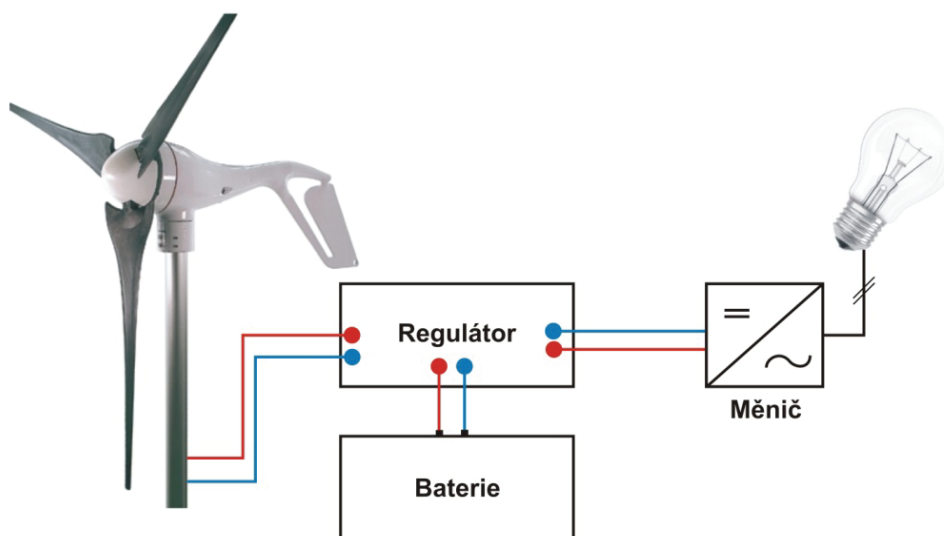
Kogenerační jednotky mají z hlediska spolupráce s nadřazenou distribuční soustavou tři základní druhy provozu, případně jejich kombinace:

- Paralelní provoz se sítí - KGJ dodává el. energii do nadřazené distribuční soustavy
- Ostrovní provoz - KGJ dodává el. energii pro vlastní spotřebu odběratele
- Nouzový provoz - KGJ plní funkci záložního zdroje ^{[15][16][17]}

3.5 Větrné elektrárny

Větrná elektrárna je zařízení měnící kinetickou energii větru na energii elektrickou. Síla proudícího vzduchu působícího na listy rotoru turbíny je převáděna na rotační mechanickou energii a ta je následně pomocí generátoru převedena na energii elektrickou.

U elektráren středních a velkých výkonů jsou pro výrobu el. energie využívány asynchronní motory s kotvou nakrátko pracující v generátorickém režimu. Ovšem pro decentralizovanou výrobu el. energie jsou častější **malé větrné elektrárny** s výkonem do 10 kW. U těchto elektráren jsou pro výrobu el. energie využívány vícepólové synchronní generátory s permanentními magnety. U MVtE bývá součástí usměrňovač pro napájení akumulátorové baterie nebo autonomní stejnosměrné sítě. Dále mohou být MVtE doplněny střídačem, který umožňuje napájení malých jednofázových spotřebičů.



Obr. 3.6: Příklad zapojení malé větrné elektrárny ^[4]

Výhody:

- Neprodukují tuhé či plynné emise, odpadní teplo a nezatěžují okolí odpady,
- energetická návratnost elektrárny je pouze 3-6 měsíců.

Nevýhody:

- Stavba možná jen na velmi omezeném území,
- výkon kolísá podle síly větru,
- možnost rušení televizního signálu či stroboskopického efektu,
- možnost kolize s letícími ptáky.

Větrné elektrárny můžeme podle osy otáčení rotoru turbíny rozdělit na horizontální a vertikální.

- **Horizontální** turbíny musí vždy směřovat proti směru větru, proto se u MVtE používá směrová lopatka. Horizontální turbínu můžeme vidět na obrázku 6.
- **Vertikální** turbíny nemusí měnit jejich směr, zabírají méně prostoru oproti horizontálním a jsou méně hlučné. Naopak jsou dražší a mají nižší účinnost, proto nejsou v dnešní době tolik využívány. ^{[1][4][13]}



Obr. 3.7: Vertikální turbína ^[14]

3.6 Shrnutí

Z předešlých kapitol je patrné, že každý zdroj elektrické energie má své výhody i nevýhody. Jako ideální by se mohly jevit vodní elektrárny, protože mají vysokou účinnost, šetří životní prostředí a mají schopnost rychlého nastartování, tudíž jdou operativně spustit v případě potřeby. Ovšem k vodním tokům nemá přístup každý a navíc je potřeba optimální průtok a spád vody.

Jelikož záleží na mnoha aspektech (např. podnebí, nadmořská výška atd.), při jakých bude daná elektrárna provozována, tak nelze jednoduše určit nejlepší či nejvýhodnější zdroj energie a vždy záleží na konkrétní situaci.

Kogenerační jednotky jsou vhodnou volbou tam, kde je velká spotřeba tepla, např. nemocnice. V dnešní době jsou dostupné už i KGJ o malém výkonu pro rodinné domy, což se s nynějším požadavkem na co nejméně energeticky náročné domy stává zbytečností, jelikož by vyrobené teplo nebylo adekvátně využito.

U fotovoltaických a větrných elektráren je velkou nevýhodou, že jsou neregulovatelné a jejich provoz záleží pouze na počasí. FVE, i přes jejich malou účinnost a poměrně velké vstupní investice, jsou v ČR nejrozšířenějším zdrojem elektrické energie a to především díky dotacím od státu, kdy si alespoň malou FVE může dovolit téměř každý. Velkou výhodou FVE oproti větrným elektrárnám je, že nevydává hluk. Jelikož jsou větrné elektrárny i FVE nevzhledné, je budoucnost pro rodinné domy ve fotovoltaických střešních taškách, případně ve zcela průhledném fotovoltaickém skle, které se bude dát využít v oknech.

Zejména v případě „Grid-off“ řešení dává smysl kombinace větrné a fotovoltaické elektrárny. Baterie jsou dobíjeny fotovoltaickými články za slunečného počasí a větrnými turbínami při zamračených větrných dnech.



Obr. 3.8: Kombinovaná elektrárna ^[18]

4 Připojení lokálních zdrojů do distribuční soustavy

Pravidla pro připojení lokálních zdrojů do distribuční soustavy vycházejí z přílohy 4 Pravidel provozování distribučních soustav zpracovaných provozovateli distribučních soustav a schválených ERÚ. Tato příloha nese název „Pravidla pro paralelní provoz výroben a akumulačních zařízení se sítí provozovatele distribuční soustavy“, shrnuje hlavní hlediska, na která je zapotřebí brát zřetel při připojování výrobní elektřiny do sítě NN, VN nebo 110 kV provozovatele DS a slouží jako podklad při projektování.

Každý výrobce elektřiny, provozující výrobní elektřiny s instalovaným výkonem 100 kW a více, je dle Energetického zákona č. 458/2000 Sb. povinen tuto výrobní vybavit zařízením umožňujícím její dispečerské řízení. PDS si dále specifikuje požadavky na zařízení dispečerské řídicí techniky, které je ve výrobních instalováno především pro omezení dodávky výkonu do DS a regulaci napětí v DS, a to v souladu s platnými právními předpisy, PPDS a Nařízením Komise (EU) 2016/631.^[19]

4.1 Dispečerské řízení

Úkolem je bezpečný a bezporuchový provoz elektrických sítí. Dispečerské řízení zahrnuje přípravu provozu, operativní řízení a hodnocení provozu elektrických sítí. Na základě Energetického zákona má zodpovědnost za zřízení dispečinku a provádění dispečerského řízení jak provozovatel přenosové soustavy, tak i provozovatelé distribučních soustav.

PPS je povinen zřídit a provozovat technický dispečink, který odpovídá za dodržování pravidel propojení s elektrizačními soustavami ostatních států.

PPS dispečersky řídí:

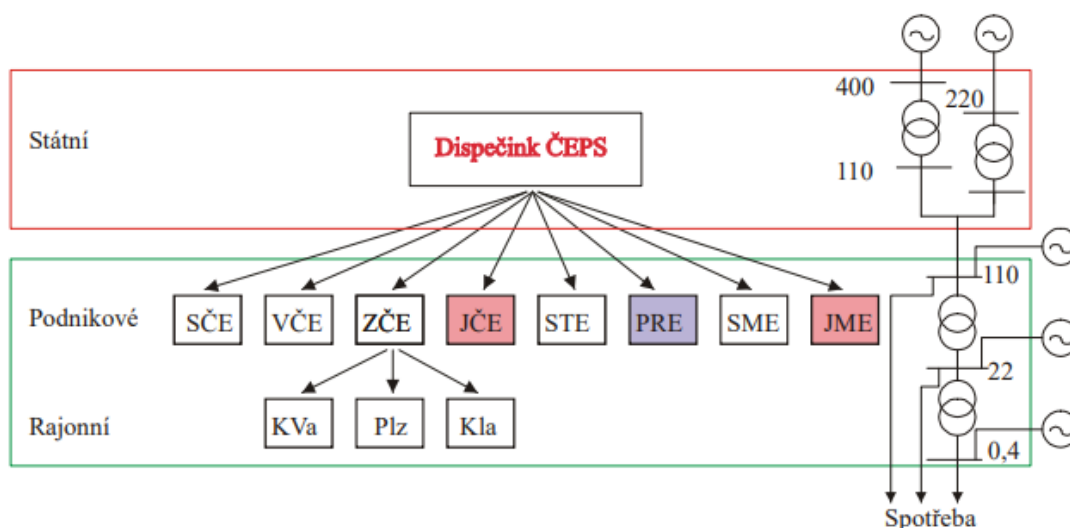
- přenos v PS,
- výrobní elektřiny připojené k PS,
- výrobní elektřiny poskytující podpůrné služby k zajištění systémových služeb DS v součinnosti s PDS.

PDS je povinen zřídit a provozovat technický dispečink v případě, že provozuje zařízení s napětím 110 kV. Dispečink PDS odpovídá za dispečerské řízení výroby a distribuci elektřiny v DS.

PDS dispečersky řídí:

- výrobní elektřiny připojené k DS,
- odběrná elektrická zařízení, která jsou připojena k DS,
- přímá vedení, která jsou připojena k DS.

Při dispečerském řízení předávaných výkonů v reálném čase je dispečink PPS nadřazen dispečinkům PDS.



Obr. 4.1: Hierarchie dispečerského řízení elektrických sítí v ČR ^[24]

Vlastníkem přenosové soustavy i dispečinku je stát. Distribuční sítě a tím i dispečinky jsou ve vlastnictví společnosti ČEZ (bílá), E.ON (červená) a PRE (fialová). Jednotlivé dispečinky mohou pro splnění své funkce využívat ještě rajonní dispečinky, působící v určité části regionu.

Pro bezpečný provoz je nutné výroby s instalovaným výkonem od 100 kW začlenit do systému dálkového řízení PDS, což zahrnuje:

- regulaci činného a jalového výkonu,
- možnost dálkového odpojení výroby od DS (odpínací prvek musí být instalován tak, aby zůstal funkční i po silovém odpojení výroby od DS a umožnil tak automatizaci tohoto procesu),
- signalizaci stavu spínacích prvků,
- signalizaci působení ochran,
- přenos hodnot napětí, proudu, činného a jalového výkonu ze zdroje na dispečink PDS.

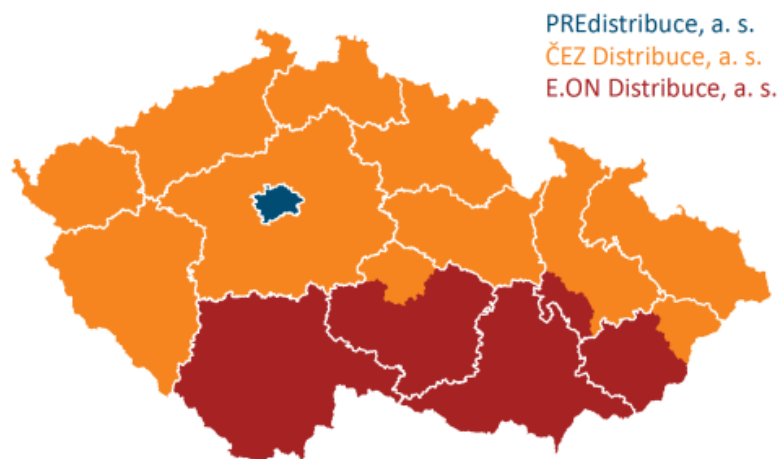
U výroben s instalovaným výkonem do 100 kW stačí pouze vybavení odpínacím prvkem pro dálkové odpojení výroby od DS.

Požadavky na regulaci činného a jalového výkonu z pohledu dálkového dispečerského řízení:

- Udržování účinníku v místě fakturačního měření na základě povelu z dispečinku PDS,
- dosažení neutrálního pásma induktivního účinníku $\cos\varphi = 0,95$ až $\cos\varphi = 1$,
- během dodávky dodržovat smluvený účinník $\cos\varphi$ s PDS,
- zamezení dodávky jalové práce zpět do DS. ^{[19][20][24]}

4.2 Požadavky na zařízení distribuční řídicí techniky

Jak již bylo řečeno, každý PDS si specifikuje požadavky na zařízení DŘT. V ČR jsou tři provozovatelé distribučních soustav, ČEZ Distribuce, a.s., E.ON Distribuce, a.s. a PREdistribuce, a.s.



Obr. 4.2: Rozložení působnosti PDS v ČR ^[23]

Jelikož PRE provozuje DS pouze na území hlavního města Prahy a města Roztoky, tak jsou v následujících kapitolách srovnávány požadavky ČEZ a E.ON, kteří svou působností zaujímají téměř celé území ČR.

4.2.1 Požadavky PDS ČEZ

Ve výrobnách s instalovaným výkonem do 100 kW musí být instalován přijímač hromadného dálkového ovládání, ve výrobnách s instalovaným výkonem 100 kW a více musí být kromě přijímače HDO instalováno ještě řídicí a komunikační zařízení (např. řídicí jednotka). U výroben do 100 kW není požadován přenos měření a signalizace na dispečink PDS a regulace činného výkonu probíhá pouze v režimu 0 a 100 % instalovaného výkonu, další stupně se nevyvádí (případně ani neosazují).

Komunikační a řídicí jednotka jsou v souladu s PPDS požadovány v majetku výroby. Jako hlavní prostředek k regulaci činného výkonu je instalován přijímač HDO, který je v majetku PDS, jako záložní prostředek je k tomuto účelu využita řídicí jednotka. V oblasti bez signálu HDO je k regulaci použita řídicí jednotka v majetku PDS, která je osazována u výroben s instalovaným výkonem nad 11 kW.

Regulace činného výkonu:

Výrobna musí být schopna adekvátně (rychle a přesně) reagovat na povel z dispečinku PDS k omezení činného výkonu jmenovité hodnoty včetně povelu ke zrušení omezení. Regulace činného výkonu probíhá stupňovitě v režimu:

u fotovoltaických a větrných elektráren:

- 0 % jmenovitého výkonu
- 30 % jmenovitého výkonu
- 60 % jmenovitého výkonu
- 100 % jmenovitého výkonu

u elektráren na bioplyn, biomasu, MVE a kogeneračních:

- 0 % jmenovitého výkonu
- 50 % jmenovitého výkonu
- 75 % jmenovitého výkonu
- 100 % jmenovitého výkonu

Regulace mezi stupni musí probíhat bez přechodu na mezistupeň 100 % nebo 0 %. Na dispečink PDS musí být zajištěn přenos měření a signalizace.

U výroben s kombinovanou výrobou elektrické energie a tepla (KGJ) probíhá stupňovitá regulace u výkonu nad rozsah neohrožující dodávky tepla. Pokud uvedená výrobní vyrábí el. energii pouze jako vynucenou výrobou tepla, nemusí být vybavena stupňovitou regulací činného výkonu, ale musí být vybavena odpínacím prvkem umožňujícím dálkové odpojení z paralelního provozu s DS prostřednictvím přijímače HDO.

Pravidla U/Q regulace:

U výrobní musí být zajištěna plynulá (ne stupňovitá) dálková regulace na zadanou hodnotu napětí z dispečerského řídicího systému (tzv. U/Q regulace) v rozsahu PQ diagramu v rozmezí účinníku $\cos\varphi = 0,95$ ve 2. kvadrantu (odběr jalového výkonu) – 1 – 0,95 ve 3. kvadrantu (dodávka jalového výkonu).

Výrobně je z dispečinku zadávána požadovaná hodnota napětí, na kterou má výrobní regulovat. Na základě rozdílu mezi požadovanou a aktuálně měřenou hodnotou napětí v místě připojení reguluje výrobní jalový výkon v daném rozsahu tak, aby byl rozdíl mezi hodnotami minimalizován. V případě ztráty komunikace mezi DŘS a výrobní reguluje U/Q regulace na poslední známou požadovanou hodnotu napětí z DŘS. V případě, že PDS pošle povel na vypnutí U/Q regulace, výrobní je povinná regulovat na účinník $\cos\varphi = 1$.

Regulace musí být funkční v případě, že výkon výrobní je nad 10 % S_n (je tolerováno, pokud při startu a vypínání výrobní není regulace krátkodobě aktivní).

Přesnost regulace:

- hladina VVN – 0,2 % z U_n (220 V na hladině 110 kV)
- hladina VN – 0,5 % z U_n (175 V na 35 kV, 110 V na 22 kV, 50 V na 10 kV)
- hladina NN – 1 % z U_n (4 V na 0,4 kV)

Požadavky na přijímač HDO

Přijímač HDO dodá PDS. Je preferováno umístění v elektroměrovém rozvaděči, pokud bude umístěn jinde, musí k němu být zajištěn přístup pro pracovníky ČEZ Distribuce. Přijímač musí být instalován tak, aby zůstal pod napětím i po odpojení výrobní z paralelního provozu s DS, tj. napájen přímo z DS, bez záložního zdroje.

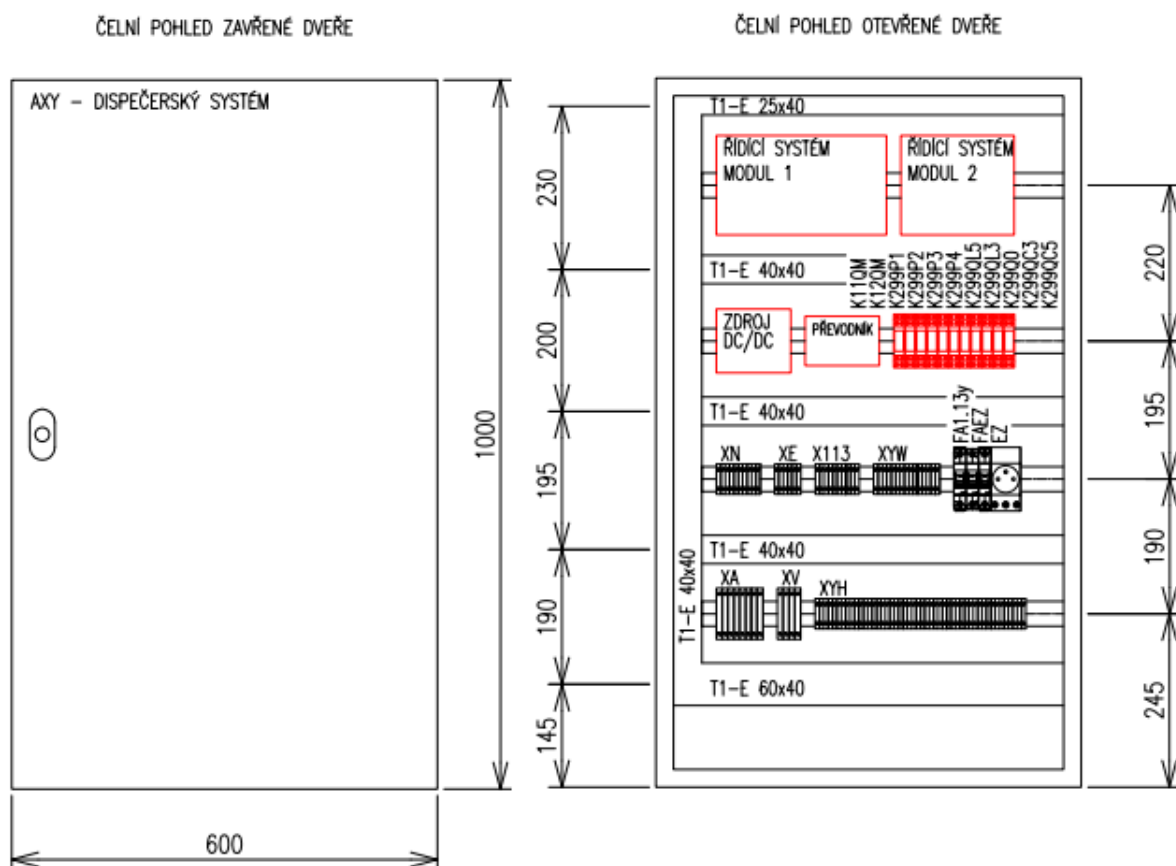
Přijímač HDO pro regulaci výkonu nenahrazuje přijímač HDO určený k přepínání tarifu. ^[21]

4.2.2 Požadavky PDS E.ON

Zřizovatel výroby vybaví rozvodnu 22 kV (nebo jiný prostor, který vyhoví podmínkám přístupu) skříní s rozhraním pro předávání informací. Tato skříň (AXY01) bude doplněna zařízením pro sběr a přenos informací (RTU) pro DŘT. Toto se týká výroben s instalovaným výkonem 100 kW a více, u výroben do 100 kW stačí HDO.

Obecné požadavky na skříň AXY01:

Rozvaděč AXY01 musí být umístěn tak, aby byl umožněn nepřetržitý přístup servisním pracovníkům E.ON a zároveň byl zabezpečen proti vstupu jiných osob. Minimální rozměry AXY01 pro vnitřní použití jsou 600(š) x 1000(V) x 260(h) mm, v nutných případech venkovního umístění je pak minimální šířka 500 mm. Spodní hrana rozvaděče musí být 600 až 1000 mm nad úroveň definitivně upraveného terénu (podlahy). Nejmenší přípustné krytí je IP44, po otevření dveří alespoň IP20. Zřizovatel vybaví AXY01 svorkovnicemi, jističi, servisní zásuvkou, DIN lištami a kabelovými žlaby. Svorkovnice s přivedeným napájením, povely a informacemi je umístěna v dolní části AXY01 a funguje jako dělící místo mezi zařízením E.ON a zařízením provozovatele zdroje.



Obr. 4.3: Skříň AXY01 [22]

Napětí:

Je nutno přivést samostatně jištěné stejnosměrné napájení 110 V nebo 24 V ze zálohovaného zdroje umožňujícího provoz RTU a pomocných obvodů, při výpadku síťového napájení, po dobu 72 hodin. Hodnota jističe je minimálně 6 A. Zdroj musí mít vyvedeny signály „porucha usměrňovače“ a „podpětí baterie $0,95 U_n$ “. Samostatně jištěné střídavé napájení 230 V pro servisní zásuvku se jistí jističem o hodnotě 10 A.

Měření:

Měření pro potřeby dispečinku E.ON se napojuje z obdobných míst jako obchodní měření. Tedy v případě, že je OM na straně NN, tak bude i převodník pro dispečerské měření zapojen na stranu NN. Obdobně pokud je OM na straně VN, bude i převodník na straně VN. Výjimkou je, pokud je OM na straně NN a VN strana je vybavena vhodnými měniči proudu a napětí (MTP a MTN). V takovém případě se dispečerské měření realizuje přednostně na straně VN.

V případě složení výroby z několika generátorů stejné kategorie výroby elektřiny (např. FVE) je měřena suma jejich svorkových výkonů. V případě různých typů zdrojů (např. FVE a KGJ) je požadováno měření těchto výkonů odděleně. Podmínka pro oddělené měření neplatí, pokud suma instalovaných výkonů jednoho typu zdroje výroby nepřesáhne 100 kW.

MTP pro dispečerské měření proudu musí mít převod $xx/1$ nebo $xx/5$ A, třídu přesnosti 0,5 nebo FS10 a výkon 5 nebo 10 VA. MTN pro dispečerské měření napětí musí mít převod $22000/\sqrt{3}$ V / $100/\sqrt{3}$ V, třídu přesnosti 0,5 a výkon 10 VA. Pro dispečerské měření nemůžou být použity společné proudové a napěťové obvody s obchodním měřením. MTP a MTN se umísťují v přívodním poli, případně v poli OM jako druhá jádra.

Signalizace:

Pro připojení vstupů signálů do RTU se používají samostatné bezpotenciálové galvanicky oddělené kontakty. Jestliže není signalizace poruch řešena poskytnutím informací ze zdroje poruchy, ale poskytnutím informací pomocí tzv. zmnožovacích relé, je navíc požadována dodatečná signalizace „ztráta signalizačního napětí v poli“.

Povely:

Kontakty výstupů z AXY01 pro ovládání regulace výkonů jsou dimenzovány na stejnosměrné napětí 110 V a proud 6 A.

Regulace jalového výkonu:

Pro výroby připojované do sítě VN je požadována schopnost řízení jalového výkonu v zadaném rozmezí. Dle PPDS je standardně požadováno, aby byl zdroj schopen dodávat jmenovitý činný výkon v rozmezí účinníků $\cos\varphi = 0,85$ (dodávka jalového výkonu) – 1 – 0,95 (odběr jalového výkonu). Standardní provoz vyroben je s neutrálním účinníkem, v odůvodněných případech na základě potřeby a požadavku E.ON je zdroj provozován s jiným účinníkem, pokud je to žádoucí z pohledu potřeby

regulace napětí v místě připojení nebo potřeby minimalizace ztrát, tj. vyrovnaní bilance jalového výkonu.

Pro bioplynové, fotovoltaické, větrné i kogenerační elektrárny dostačuje v běžných případech řízení jalového výkonu z dispečinku ve stupních:

- $QL5 \rightarrow \cos\varphi = 0,95$ induktivní účinník (odběr jalového výkonu z DS)
- $QL3 \rightarrow \cos\varphi = 0,97$ induktivní účinník
- $Q0 \rightarrow \cos\varphi = 1$ neutrální účinník (základní provozní stav)
- $QC3 \rightarrow \cos\varphi = 0,97$ kapacitní účinník (dodávka jalového výkonu do DS)
- $QC5 \rightarrow \cos\varphi = 0,95$ kapacitní účinník

U ostatních zdrojů je regulace jalového výkonu řešena individuálně dle možnosti jejich PQ diagramů, v souladu s PPDS.

Regulace činného výkonu:

Činný výkon je ze strany E.ON řízen pouze v případech stanovených energetickým zákonem (zejména ohrožení života, stav nouze, neoprávněná distribuce, plánované práce, poruchy atd.) a za podmínek stanovených tímto zákonem. Jedná se o možnost přechodného omezení výkonu výroby, tzn. výroba nesmí překročit stanovenou hodnotu, je ale možné výrobu provozovat s nižším výkonem dle potřeby nebo možností provozovatele výroby.

U fotovoltaických a větrných elektráren se regulace provádí ve stupních:

- $P1 \rightarrow 0 \%$ jmenovitého výkonu
- $P2 \rightarrow 30 \%$ jmenovitého výkonu
- $P3 \rightarrow 60 \%$ jmenovitého výkonu
- $P4 \rightarrow 100 \%$ jmenovitého výkonu (základní provozní stav)

U elektráren bioplynových a kogeneračních se regulace provádí ve stupních:

- $P1 \rightarrow 0 \%$ jmenovitého výkonu
- $P2 \rightarrow 50 \%$ jmenovitého výkonu
- $P3 \rightarrow 70 \%$ jmenovitého výkonu
- $P4 \rightarrow 100 \%$ jmenovitého výkonu (základní provozní stav)

V případě složení výroby z různých typů zdrojů je pro dálkové regulace i nadále jedno rozhraní jak pro ovládání, tak pro zpětnou signalizaci. Regulační stupně se ve výrobě přizpůsobují významnějšímu typu. ^[22]

4.2.3 Srovnání požadavků PDS ČEZ a E.ON

Jelikož jsou požadavky na DŘT, jak již bylo řečeno, kladeny v souladu s platnými právními předpisy, PPDS a Nařízením Komise (EU) 2016/631, tak jsou tyto velmi podobné u obou PDS.

U požadavků na regulaci je jediný rozdíl a to u druhého nejvyššího stupně nastavení činného výkonu u elektráren jiných než fotovoltaických a větrných. ČEZ tento stupeň požaduje 75 % jmenovitého výkonu a E.ON 70 % jmenovitého výkonu.

Jako hlavní rozdíl vnímám to, že ČEZ využívá jako hlavní prostředek k regulaci výkonu přijímač HDO a RTU má pouze jako záložní, kdežto E.ON využívá řídicí jednotku vždy a přijímač HDO pouze u výroben do 100 kW, kde není nutné použití RTU.

Dalším rozdílem je vlastnictví RTU, kdy ČEZ toto zařízení požaduje v majetku výroby. Naopak E.ON ho sám dodá a je jeho vlastníkem.

Jako poslední rozdíl vidím v tom, že ČEZ má sice určitá pravidla a požadavky, ale E.ON je daleko blíže specifikuje, co se např. požadavků na jednotlivá zařízení týče.

Pokud bych měl zhodnotit, který PDS je z pohledu požadavků na připojení lokálních zdrojů do DS vhodnější, i když si nemůžeme vybírat, jelikož každý PDS působí v určité části republiky, tak z pohledu projektanta by to byl určitě E.ON, který lépe a blíže specifikuje požadavky na jednotlivá zařízení. A z pohledu majitele výroby by to byl pravděpodobně taky E.ON, protože požadavky jsou velmi podobné, ovšem E.ON by mi ušetřil investici alespoň za RTU.

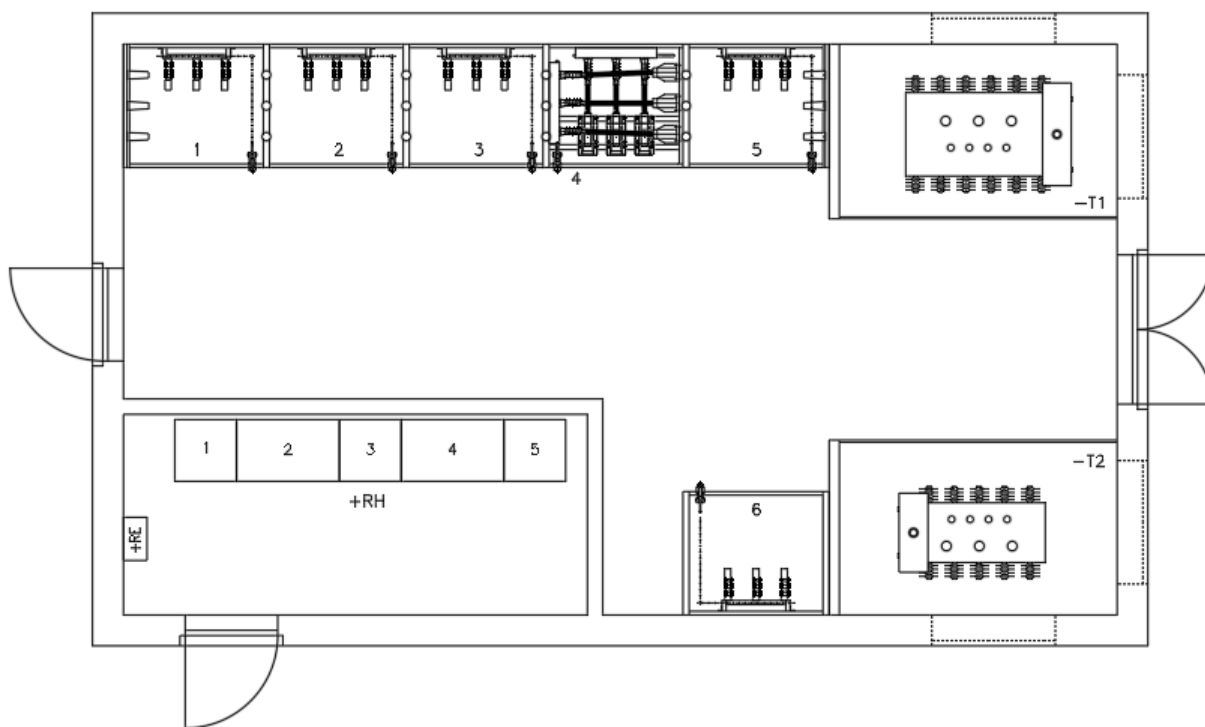
5 Návrh dispečerského řízení lokálních zdrojů

V této kapitole je řešeno zhotovení projektu pro dispečerské řízení lokálních zdrojů elektrické energie. Jedná se o obecný návrh, nikoliv o reálný projekt, tudíž je důležité si jako první specifikovat uvažované vstupní údaje k danému projektu. V projektu je realizováno **dispečerské řízení nových lokálních zdrojů el. energie začleněných do stávajícího provozu**. Při návrhu jsem vycházel ze zvyklostí firmy, ve které jsem aktuálně zaměstnaný, a která má s projektováním dispečerského řízení letité zkušenosti.

5.1 Vstupní údaje

Uvažovaným provozovatelem distribuční soustavy je E.ON Distribuce, a.s.

Areál sestává z pěti objektů (budov), jimiž jsou budova trafostanice, budova A, budova B, budova C a budova D. Součástí trafostanice je rozvodna VN i hlavní rozvaděč NN +RH. Obchodní měření napojeno na straně VN.



Obr. 5.1: Půdorys trafostanice

Napájení areálu:

Je řešeno pomocí dvou transformátorů -T1 a -T2. Transformátor -T1 o výkonu 630 kVA napájí jednu část rozvaděče +RH, ze které je dále napájen podružný rozvaděč NN +RK v budově A. Transformátor -T2 o výkonu 400 kVA napájí druhou část rozvaděče +RH, ze které jsou dále napájeny

podružné rozvaděče NN +RFVE2 v budově B, +RFVE3 v budově C a +RFVE4 v budově D. Obě části rozvaděče +RH jsou odděleny podélným dělením a za normálních okolností je každá část napájena zvlášť.

Základní technické parametry:

- Rozvodná soustava VN: 3AC 22 kV, IT
- Rozvodná soustava NN: 3NPE 400/230 V, TN-S

Lokální zdroje pro dispečerské řízení:

- Kogenerační jednotka 184 kW v budově A
- Kogenerační jednotka 140 kW 140 v budově A
- Fotovoltaická elektrárna 30 kWp na střeše budovy A
- Fotovoltaická elektrárna 30 kWp na střeše budovy B
- Fotovoltaická elektrárna 35 kWp na střeše budovy C
- Fotovoltaická elektrárna 35 kWp na střeše budovy D

Jednotka kWp udávaná u fotovoltaických elektráren je jednotkou špičkového výkonu ($p = \text{peak}$). Jde o výkon při standardních testovacích podmínkách (energie o hodnotě $E = 1 \text{ kW/m}^2$ dopadá kolmo na fotovoltaický panel, průzračnost atmosféry $A_m = 1,5$ a teplota článků $T = 25 \text{ °C}$). Skutečný výkon FVE je většinou samozřejmě menší než udávaná hodnota kWp, pouze za plného slunečního svitu okolo poledne může v našich klimatických podmínkách výkon FV panelů nominální hodnotu kWp mírně překročit. Orientačně FV panely s celkovým výkonem 1 kWp vyrobí v našich podmínkách ročně cca 950 kWh el. energie. ^[25]

5.2 Trafostanice - rozvodna VN

Jelikož se měření pro potřeby dispečinku E.ON napojuje z obdobných míst jako obchodní měření, tak bude toto měření napojeno na straně VN. Většinou je rozvaděč VN vybaven 3x jednopólovým MTN s jedním sekundárním vinutím ve všech fázích a 2x jednojádrovým MTP ve fázích L1 a L3 pro potřeby obchodního měření. Tyto transformátory je z důvodu dispečerského měření nutno vyměnit.

Úprava kobky měření:

1. Výměna stávajících MTN ve všech fázích za nové MTN se dvěma sekundárními vinutími (1. úředně cejkované pro obchodní měření, 2. pro dispečerské měření). Parametry dle požadavků E.ON.

Tab. 5.1: Parametry MTN

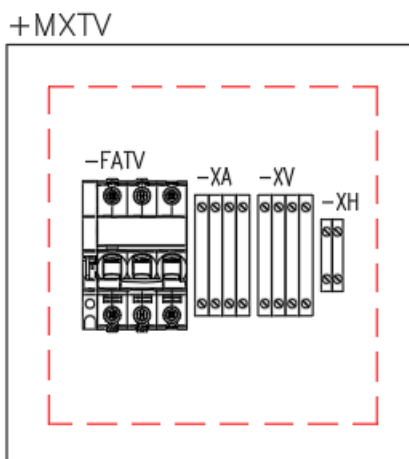
Typ měření	Primární napětí (V)	Sekundární napětí (V)	Třída přesnosti	Výkon (VA)
Obchodní	22 000 / $\sqrt{3}$	100 / $\sqrt{3}$	0,5	10
Dispečerské		100 / $\sqrt{3}$	0,5	10

2. Výměna stávajících MTP ve fázích L1 a L3 za nové dvoujádrové MTP (1. jádro úředně cejkované pro obchodní měření, 2. jádro pro dispečerské měření) a doplnění jednojádrového MTP do fáze L2 pro dispečerské měření. Primární proud MTP se určuje dle smlouvy o připojení, ostatní parametry vychází z požadavků E.ON.

Tab. 5.2: Parametry MTP

Typ měření	Primární proud (A)	Sekundární proud (A)	Třída přesnosti	Výkon (VA)
Obchodní	10	5	0,5S	10
Dispečerské		1	0,5	10

3. Doplnění přechodové skříňky (+MXTV) se sekundárním jištěním MTN na dveře kobky. Jištění je provedeno třípólovým jističem 2 A (-FATV). Jistič je vybaven pomocným kontaktem pro signalizaci jeho vypnutí.



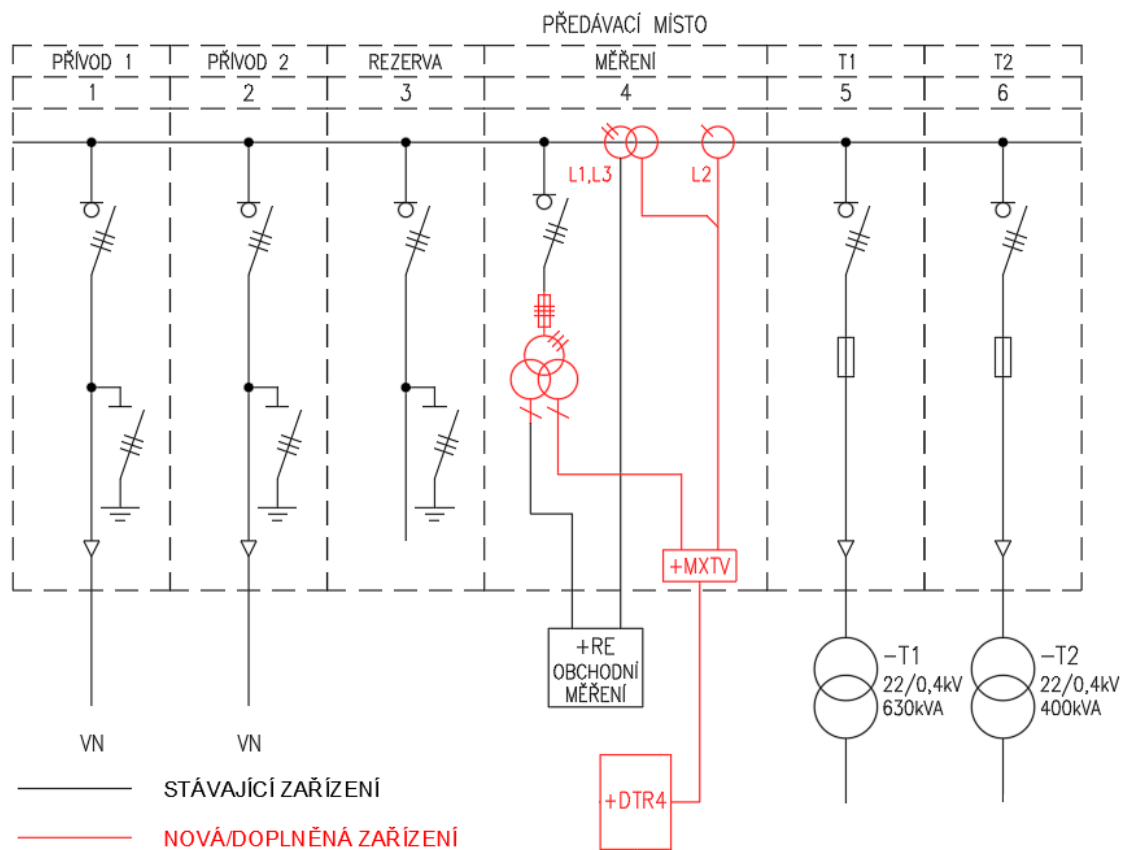
Obr. 5.2: Vybavení skříňky +MXTV

4. Nové proudové (CYKY-O 4x4) a napěťové (CYKY-O 4x2,5) sekundární obvody dispečerského měření jsou přivedeny do rozvaděče řídicí jednotky +DTR4. Průřezy kabelů jsem volil stejné, jako jsou požadovány pro obchodního měření.

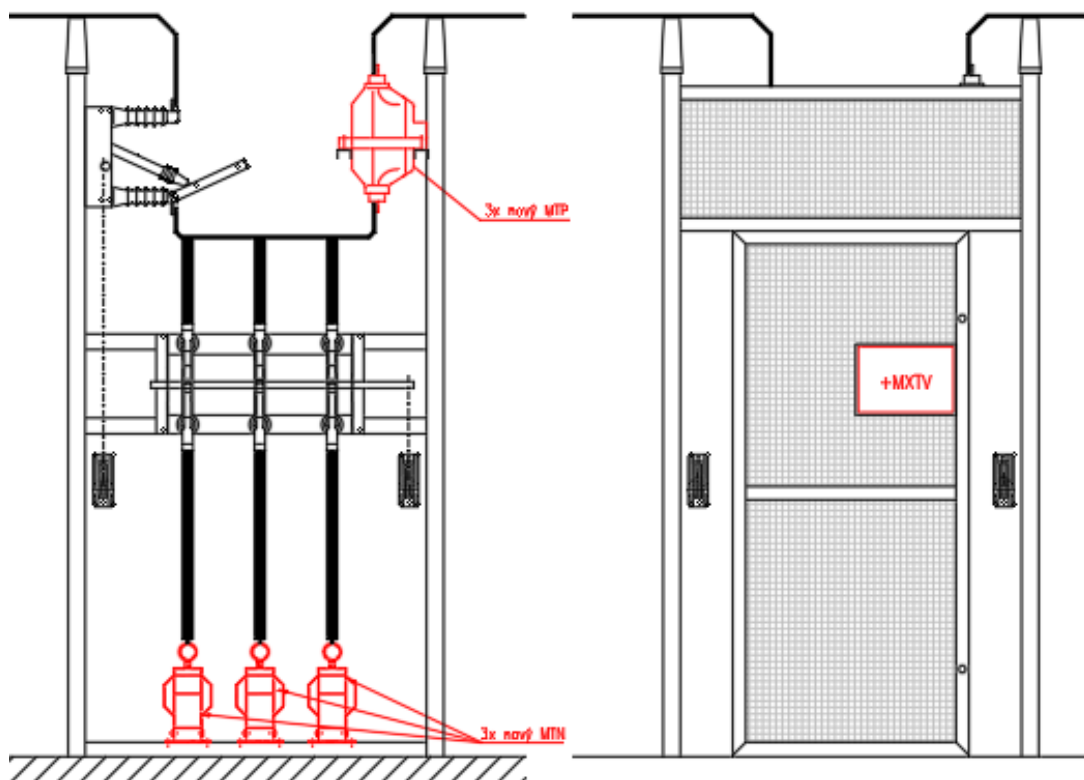
Tab. 5.3: Minimální průřezy měděných vodičů měření ^[26]

Délka (m)	Typ okruhu	Minimální průřez (mm ²)
do 20	Proudový	4
	Napěťový	2,5
do 60	Proudový	6
	Napěťový	4

Na obr. 5.3 a 5.4 jsou znázorněna zařízení, která jsou potřeba doplnit do kobky měření rozvaděče VN. Obrázek 5.3 vychází z přílohy II - Přehledové schéma napájení.



Obr. 5.3: Jednopolové schéma rozvaděče VN



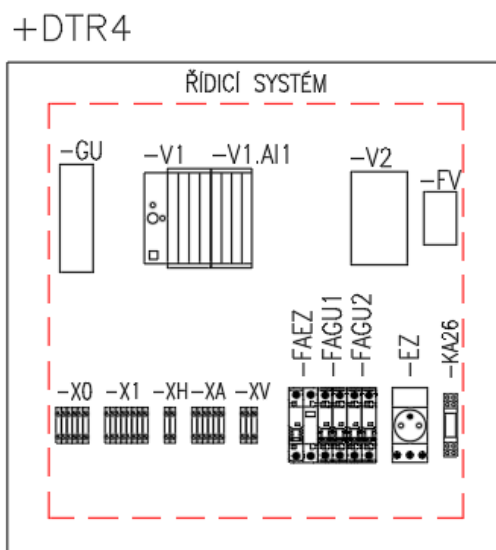
Obr. 5.4: Kobka měření rozvaděče VN

5.3 Trafostanice - rozvodna NN

Úprava NN strany trafostanice:

1. Doplnění modulárního jednopólového pojistkového odpínače válcových pojistek -FU.DTR pro napájení řídicí jednotky trafostanice +DTR4 do hlavního rozvaděče +RH na stranu napájenou z transformátoru -T1. Z důvodu vybavení rozvaděče zásuvkou 230 V/10 A jsem hodnotu pojistky zvolil 16 A.
2. Napájecí kabel 230 V z +RH do +DTR4 jsem zvolil CYKY-J 3x2,5, který má proudovou zatížitelnost na vzduchu 25 A a tedy naprosto dostačuje při jištění pojistkou 16 A.
3. Instalace skříně řídicí jednotky trafostanice +DTR4, která slouží k přenosu měření a signalizace z kobky měření rozvodny VN do skříně hlavní řídicí jednotky +DTR0.

Na obr. 5.5 je vidět vybavení této skříně, specifikace tohoto vybavení je uvedena v příloze XV - Kabelová listina a specifikace zařízení.



Obr. 5.5: Vybavení skříně +DTR4

5.4 Budovy B, C a D

Úpravy:

1. Doplnění modulárního jednopólového pojistkového odpínače válcových pojistek -FU1.DTR pro napájení řídicí jednotky FVE2 (resp. FVE3, FVE4) +DTR1 (resp. +DTR2, +DTR3) do rozvaděče +RFVE2 (resp. +RFVE3, +RFVE4). Stejně jako u +DTR4 jsem z důvodu vybavení rozvaděčů zásuvkou 230 V/10 A hodnotu pojistky zvolil 16 A.
2. Doplnění modulárního třípólového pojistkového odpínače válcových pojistek -FU2.DTR pro jištění napěťového okruhu měření do rozvaděče +RFVE2 (resp. +RFVE3, +RFVE4). Hodnota pojistky je 2 A, což vychází z požadavků E.ON.

3. Doplnění MTP do 750 V do všech fází přívodu od FVE2 (resp. FVE3, FVE4) pro dispečerské měření. Hodnota primárního proudu MTP je volena podle předřazeného jističe nebo si ji vypočítám podle výkonu připojovaného zdroje.

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (A, W, V) \quad (5.1)$$

kde I_n je jmenovitý proud instalovaného zdroje,
 P_n je jmenovitý výkon instalovaného zdroje,
 U_n je jmenovité napětí sítě.

Výpočet proudu FVE2 = 30 kWp dle rovnice (5.1):

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{30 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 43,3 \text{ A}$$

Výpočet proudu FVE3 (resp. FVE4) = 35 kWp dle rovnice (5.1):

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 50,5 \text{ A}$$

Doporučená řada primárních proudů MTP je 5-10-12,5-15-20-25-30-40-50-60-75 a jejich desítkové násobky (přednostní jsou zvýrazněné hodnoty). Dle vypočítaných proudů jsem z uvedené řady zvolil hodnotu primárního proudu 50 A.

Tab. 5.4: Parametry MTP pro FVE

Typ měření	Primární proud (A)	Sekundární proud (A)	Třída přesnosti	Výkon (VA)
Dispečerské	50	1	0,5	5

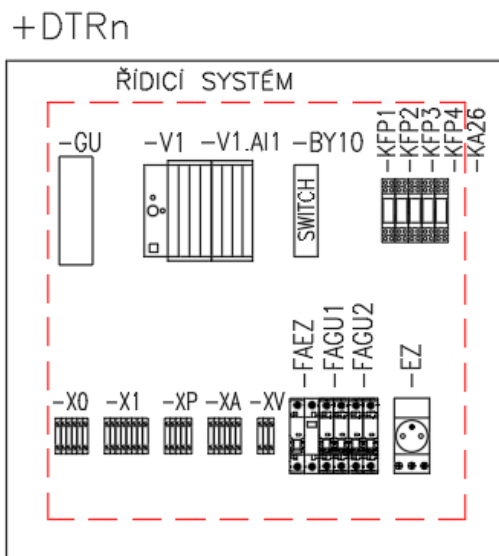
4. Napájecí kabel 230 V z +RFVE2 (resp. +RFVE3, +RFVE4) do +DTR1 (resp. +DTR2, +DTR3) je stejně jako u +DTR4 CYKY-J 3x2,5.
5. Proudové (CYKY-O 4x4) a napětové (CYKY-O 4x1,5) sekundární obvody dispečerského měření jsou přivedeny do rozvaděče řídicí jednotky +DTR1 (resp. +DTR2, +DTR3). Vlivem malého sekundárního proudu můžeme zanedbat ztráty kabelovým vedením, proto jsem průřez kabelu napětového okruhu volil dle tabulky 5.5, i když je délka větší než 5 m, průřez kabelu proudového okruhu jsem volil dle tabulky 5.3.

Tab. 5.5: Minimální průřezy měděných vodičů měření pro zdroje do 250 kW [26]

Délka (m)	Typ okruhu	Minimální průřez (mm ²)
do 5	Proudový	2,5
	Napětový	1,5

6. Instalace skříně řídicí jednotky FVE2 (resp. FVE3, FVE4) +DTR1 (resp. +DTR2, +DTR3), která slouží k dispečerskému řízení FVE2 (resp. FVE3, FVE4) a přenosu měření a signalizace do skříně hlavní řídicí jednotky +DTR0.

Na obr. 5.6 je vidět vybavení této skříně, specifikace tohoto vybavení je uvedena v příloze XV - Kabelová listina a specifikace zařízení.



Obr. 5.6: Vybavení skříně +DTRn (n=1, 2, 3)

5.5 Budova A

Úpravy:

1. Doplnění dvou modulárních jednopólových pojistkových odpínačů válcových pojistek -FU.ANU pro napájení usměrňovače rozvaděče +ANU (zálohovaný zdroj napájení 24 VDC) a -FU.AXY pro napájení zásuvky 230 V/10 A ve skříně +AXY01 (řídicí systém E.ON) do rozvaděče +RK. Hodnota pojistky bude v obou případech 16 A.
2. Doplnění modulárního třípólového pojistkového odpínače válcových pojistek -FU.DTR pro jištění napěťového okruhu měření do rozvaděče +RK. Hodnota pojistky je 2 A, což vychází z požadavků E.ON.
3. Doplnění MTP do 750 V do všech fází přívodů od KGJ1, KGJ2 a FVE1 do rozvaděče +RK pro dispečerské měření. Hodnota primárního proudu MTP je volena podle předřazeného jističe nebo si ji vypočítám podle výkonu připojovaného zdroje.

Výpočet proudu KGJ1 = 184 kW dle rovnice (5.1):

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{184 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 265,6 \text{ A}$$

Výpočet proudu KGJ2 = 140 kW dle rovnice (5.1):

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{140 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 202,1 \text{ A}$$

Dle vypočítaných proudů jsem zvolil hodnotu primárního proudu MTP pro KGJ 300 A. Pro KGJ2 by případně stačila i hodnota 200 A, ale je zbytečné používat rozdílné MTP.

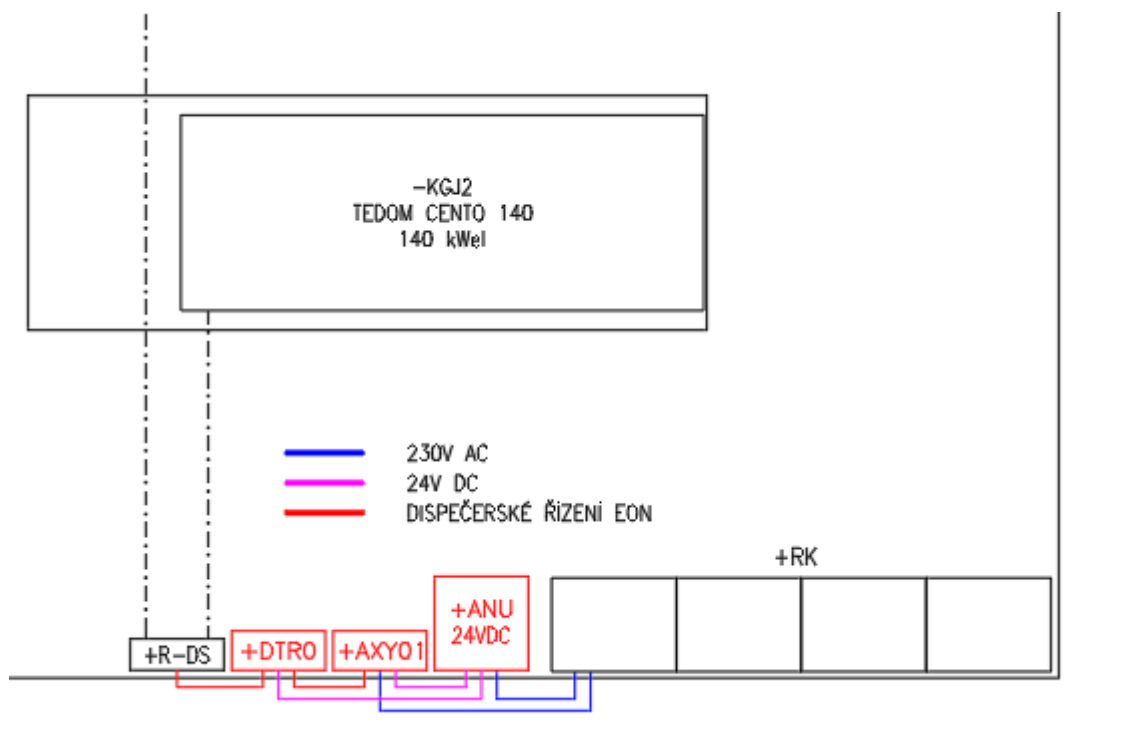
Tab. 5.6: Parametry MTP pro KGJ

Typ měření	Primární proud (A)	Sekundární proud (A)	Třída přesnosti	Výkon (VA)
Dispečerské	300	1	0,5	5

Parametry MTP pro FVE1 dle tabulky 5.4 v kapitole 5.4.

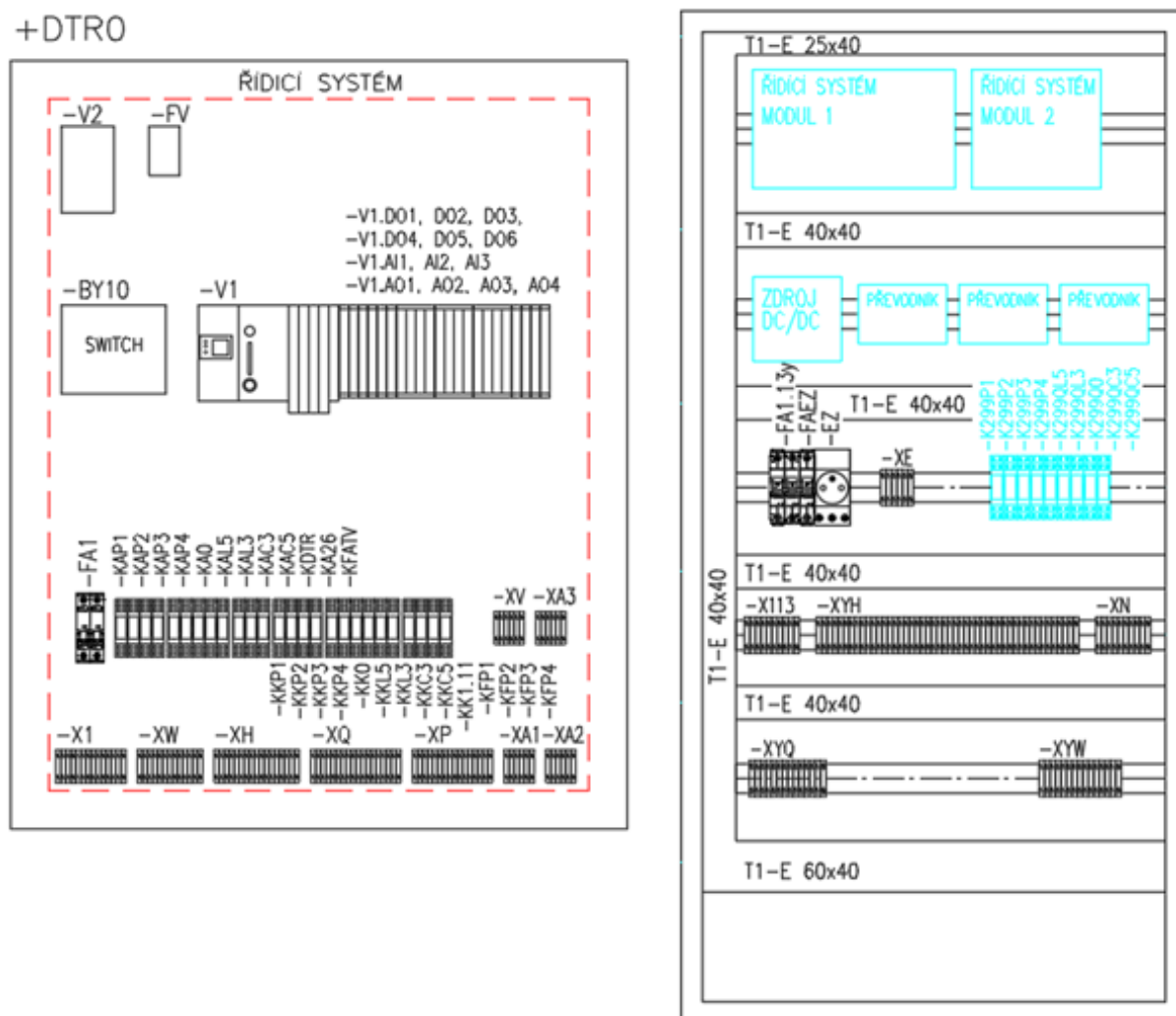
4. Napájecí kabely 230 V z +RK do +ANU a +AXY01 jsou opět CYKY-J 3x2,5.
5. Proudové (CYKY-O 4x4) a napěťové (CYKY-O 4x1,5) sekundární obvody dispečerského měření KGJ1, KGJ2 a FVE1 jsou přivedeny do rozvaděče hlavní řídicí jednotky +DTR0. Průřezy jsem volil stejně jako v případě FVE2, FVE3 a FVE4.
6. Instalace rozvaděče +ANU (zálohovaný zdroj 24 VDC) včetně usměrňovače a baterie.
7. Instalace skříně hlavní řídicí jednotky +DTR0 (autonomní řídicí systém pro dispečerské řízení KGJ jednotek a FV elektráren v areálu).
8. Instalace skříně dispečerského řízení PDS E.ON +AXY01.

Na obr. 5.7 jsou znázorněny rozvaděče, které jsou potřeba doplnit do budovy A. Obrázek vychází z přílohy V - Budova A - KG jednotky.



Obr. 5.7: Část půdorysu budovy A

Na obr. 5.8 je vidět vybavení skříní +DTR0 a +AXY01 (modrou barvou vyznačeno vybavení E.ON), specifikace tohoto vybavení je uvedena v příloze XV - Kabelová listina a specifikace zařízení.



Obr. 5.8: Vybavení skříní +DTR0 a +AXY01

5.6 Popis rozvaděčů

V této kapitole jsou popsány rozvaděče nezbytné pro dispečerské řízení, a to +AXY01, +DTR0, +DTR4, +DTRn (n = 1, 2, 3) a +ANU.

5.6.1 +AXY01 - řídicí systém E.ON

Skříň řídicího systému PDS +AXY01 musí být umístěna na takovém místě, aby k ní byl umožněn přístup servisním pracovníkům E.ON a musí být respektována možnost vyvedení vnější antény pro GPRS. Skříň musí být dále vybavena servisní zásuvkou 230 V.

Svorkovnice s přivedeným napájením 24 VDC, povely a informacemi je umístěna v dolní části skříně. Tato svorkovnice je dělicím místem mezi zařízením E.ON a zařízením provozovatele zdroje.

Do skříně +AXY01 bude přivedena signalizace z rozvaděče +ANU (viz kapitola 5.6.5), dále kabely signalizace, ovládání a měření z +DTR0.

Schéma zapojení je přiloženo v příloze VI - Dispečerské řízení AXY01 - schéma.

5.6.2 +DTR0 - hlavní řídicí jednotka

Slouží k přenosu povelů a informací mezi skříní dispečerského řízení +AXY01 a zařízeními v areálu. Z +AXY01 jsou do +DTR0 přivedeny povely pro řízení činného a jalového výkonu zdrojů, kdy řízení účinníku je vyžadováno pouze za předpokladu, že přetok vyrobené elektrické energie do DS bude více než 20 % celkového instalovaného výkonu zdrojů. Po přijetí regulačního povelu vyšle +DTR0 do +AXY01 signalizaci o jeho nastavení.

Povely:

- f299P1 = nastavení 0 % celkového instalovaného výkonu P
- f299P2 = nastavení 50 % celkového instalovaného výkonu P
- f299P3 = nastavení 70 % celkového instalovaného výkonu P
- f299P4 = nastavení 100 % celkového instalovaného výkonu P (základní provozní stav)
- f299QL5 = nastavení induktivního účinníku $\cos \varphi = 0,95$
- f299QL3 = nastavení induktivního účinníku $\cos \varphi = 0,97$
- f299Q0 = nastavení $\cos \varphi = 1$ (základní provozní stav)
- f299QC3 = nastavení kapacitního účinníku $\cos \varphi = 0,97$
- f299QC5 = nastavení kapacitního účinníku $\cos \varphi = 0,95$

Příchozí impulzy mají délku 1 s. Jednotka +DTR0 si informaci zachová trvale, až do příchodu nového povelu.

Signalizace:

- H299P1 = 0 % celkového instalovaného výkonu P
- H299P2 = 50 % celkového instalovaného výkonu P
- H299P3 = 70 % celkového instalovaného výkonu P
- H299P4 = 100 % celkového instalovaného výkonu P (základní provozní stav)
- H299QL5 = induktivní účinník $\cos \varphi = 0,95$
- H299QL3 = induktivní účinník $\cos \varphi = 0,97$
- H299Q0 = $\cos \varphi = 1$ (základní provozní stav)
- H299QC3 = kapacitní účinník $\cos \varphi = 0,97$
- H299QC5 = kapacitní účinník $\cos \varphi = 0,95$

Značení povelů a signalizací vychází z podnikové normy energetiky PNE 18 4310.

V mém případě jsou informace mezi +DTR0 a podružnými +DTR1, +DTR2 a +DTR3 přenášeny po datové lince, mezi +DTR0 a +DTR4 bezdrátovým přenosem. Pomocí binárních výstupů jsou informace předávány mezi +DTR0 a systémy řízení KG jednotek (u výrobce Tedom je to skříň +R-DS) a měničů FVE4 (v mém případě jednotka PVI-PMU od ABB).

Dispečerské měření - souhrnný výkon generátorů KG jednotek a FVE:

Do výkonových terminálů měření v hlavní řídicí jednotce +DTR0 budou přivedeny proudy I_{L1} , I_{L2} , I_{L3} z MTP KG jednotek a z přípojníc NN napětí U_{L1} , U_{L2} , U_{L3} . Výkony obou KGJ zde budou změřeny a sečteny. Hodnoty sumárních výkonů KG jednotek P_{KOG} (kW) a Q_{KOG} (kVAr) budou pomocí karty analogových výstupů převedeny na analogové smyčky:

- 0-20 mA pro činný výkon P_{KOG} ,
- ± 20 mA pro jalový výkon Q_{KOG} .

Analogové signály budou přivedeny do +AXY01.

Stejně tak budou do výkonového terminálu měření v +DTR0 přivedeny proudy I_{L1} , I_{L2} , I_{L3} z MTP FVE1 a z přípojníc NN napětí U_{L1} , U_{L2} , U_{L3} . Výkony ostatních FVE budou po datové lince přeneseny z řídicích jednotek +DTR1, +DTR2 a +DTR3 rovněž do +DTR0, kde budou sečteny na hodnoty sumárních výkonů FVE P_{FVE} (MW) a Q_{FVE} (MVar). Pomocí karty analogových výstupů budou v +DTR0 výkony převedeny na analogové smyčky:

- 0-20 mA pro činný výkon P_{FVE} ,
- ± 20 mA pro jalový výkon Q_{FVE} .

Analogové signály budou opět přivedeny do +AXY01.

Poruchová signalizace:

H791IF - porucha +DTR0, porucha přenosu informací

H8311L - ztráta ovládacího napětí 1.11 pro řízení činného a jalového výkonu

Schéma zapojení skříně +DTR0 je přiloženo v příloze VIII - Hlavní řídicí jednotka DTR0.

5.6.3 +DTR4 - řídicí jednotka trafostanice

Slouží k přenosu měření a signalizace z kobky měření +AJA04 rozvodny VN do skříně hlavní řídicí jednotky +DTR0.

Dispečerské měření - přetok do DS:

Z MTP a MTN v kobce č. 4 rozvodny 22 kV budou do výkonového terminálu měření řídicí jednotky +DTR4 přivedeny proudy I_{L1} , I_{L2} , I_{L3} a napětí U_{L1} , U_{L2} , U_{L3} . Výkony přetoku do DS a napětí U_{12} zde budou změřeny a bezdrátovým přenosem přeneseny do +DTR0. Jako hodnoty P_{PRE} (kW), Q_{PRE} (kVAr) a U_{12} (kV) budou pomocí karty analogových výstupů převedeny na analogové smyčky:

- ± 20 mA pro činný výkon P_{PRE} ,
- ± 20 mA pro jalový výkon Q_{PRE} ,
- 0-20 mA pro U_{12} .

Analogové signály budou přivedeny do +AXY01.

Poruchová signalizace:

H791IF4 - porucha +DTR4, porucha přenosu informací

H851T - vybavení jističe sekundárního obvodu MTN v trafostanici ve skřínce +MXTV

Schéma zapojení skříně +DTR4 je přiloženo v příloze X - Řídicí jednotka trafostanice - DTR4.

5.6.4 +DTR1, +DTR2 a +DTR3 - řídicí jednotky FVE2, FVE3 a FVE4

Slouží k přenosu povelů a informací mezi hlavní jednotkou +DTR0 a ostatními objekty v areálu.

Z +DTR0 jsou po datové lince přivedeny do podružných +DTR1, +DTR2 a +DTR3 povel pro řízení činného a jalového výkonu jednotlivých FVE. Pomocí binárních výstupů jsou pak předávány dále do systému řízení FV měničů (jednotka PVI-PMU).

Měření výkonu FVE:

Provádí se měření proudů a napětí v rozvaděcích +RFVE2 (budova B), +RFVE3 (budova C) a +RFVE4 (budova D). Do výkonového terminálu měření příslušných DTR jsou přivedeny z MTP proudy I_{L1} , I_{L2} , I_{L3} a z přípojníc NN napětí U_{L1} , U_{L2} , U_{L3} . Vypočtené hodnoty P (kW) a Q (kVAr) jsou po datové lince přeneseny do řídicí jednotky +DTR0 v budově A.

Poruchová signalizace:

H791IFn - porucha +DTRn, porucha přenosu informací

H8311Ln - ztráta ovládacího napětí 1.11 pro řízení činného a jalového výkonu

n = 1, 2, 3

Schéma zapojení skříní +DTR1, +DTR2 a +DTR3 je přiloženo v příloze IX - Řídicí jednotka FVE - DTR1, DTR2, DTR3.

5.6.5 +ANU - zálohovaný zdroj 24 VDC

Slouží pro napájení pomocných obvodů ovládaní, měření a signalizace pro potřeby distributora a žadatele po dobu 5 hodin při výpadku síťového napájení a také pro napájení rozvaděčů +DTR0 a +AXY01. Rozvaděč obsahuje zdroj 24 VDC včetně usměrňovače a baterie.

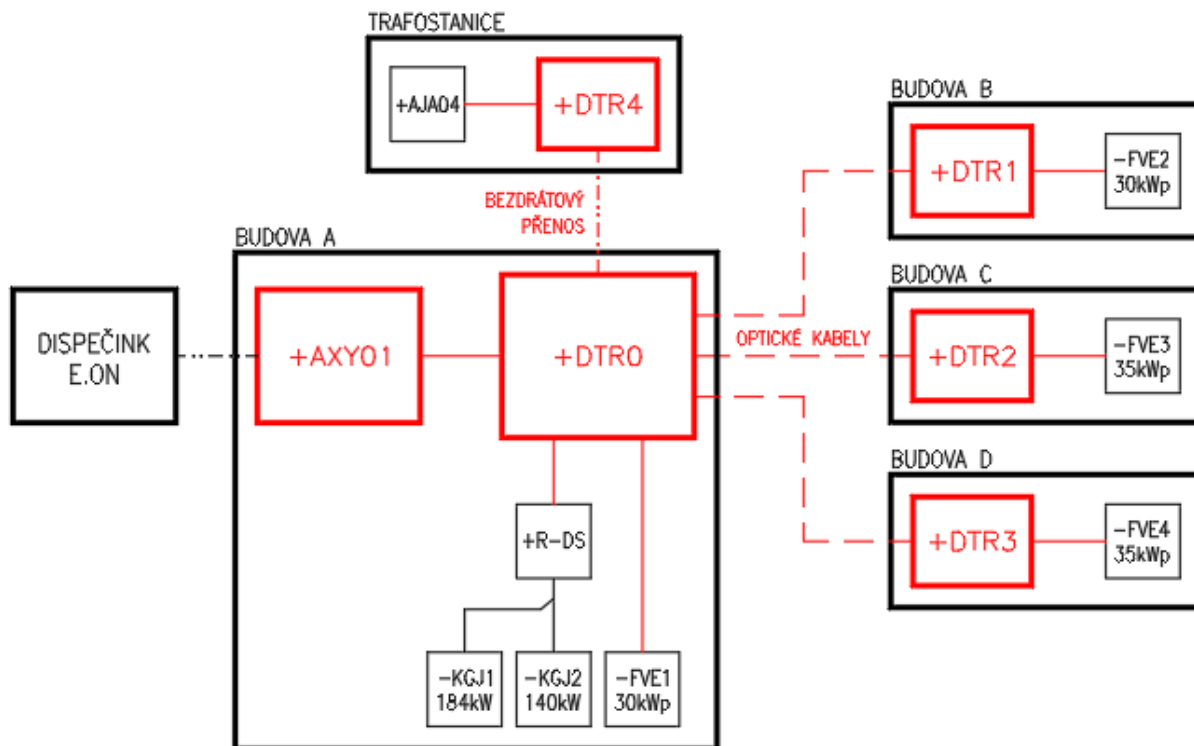
Poruchová signalizace:

H931IF - vnitřní porucha usměrňovače + snížené napětí 24 VDC

Schéma zapojení rozvaděče +ANU je přiloženo v příloze VII - Rozvaděč ANU 24 VDC.

5.7 Přenos dat

Na obr. 5.9 je červenou barvou vyznačeno, co je předmětem řešeného projektu, kde komunikace mezi skříněmi +DTR0 a +DTR1, +DTR2, +DTR3 je řešena pomocí datových kabelů a mezi skříněmi +DTR0 a +DTR4 bezdrátovým přenosem pomocí rádiového modulu.



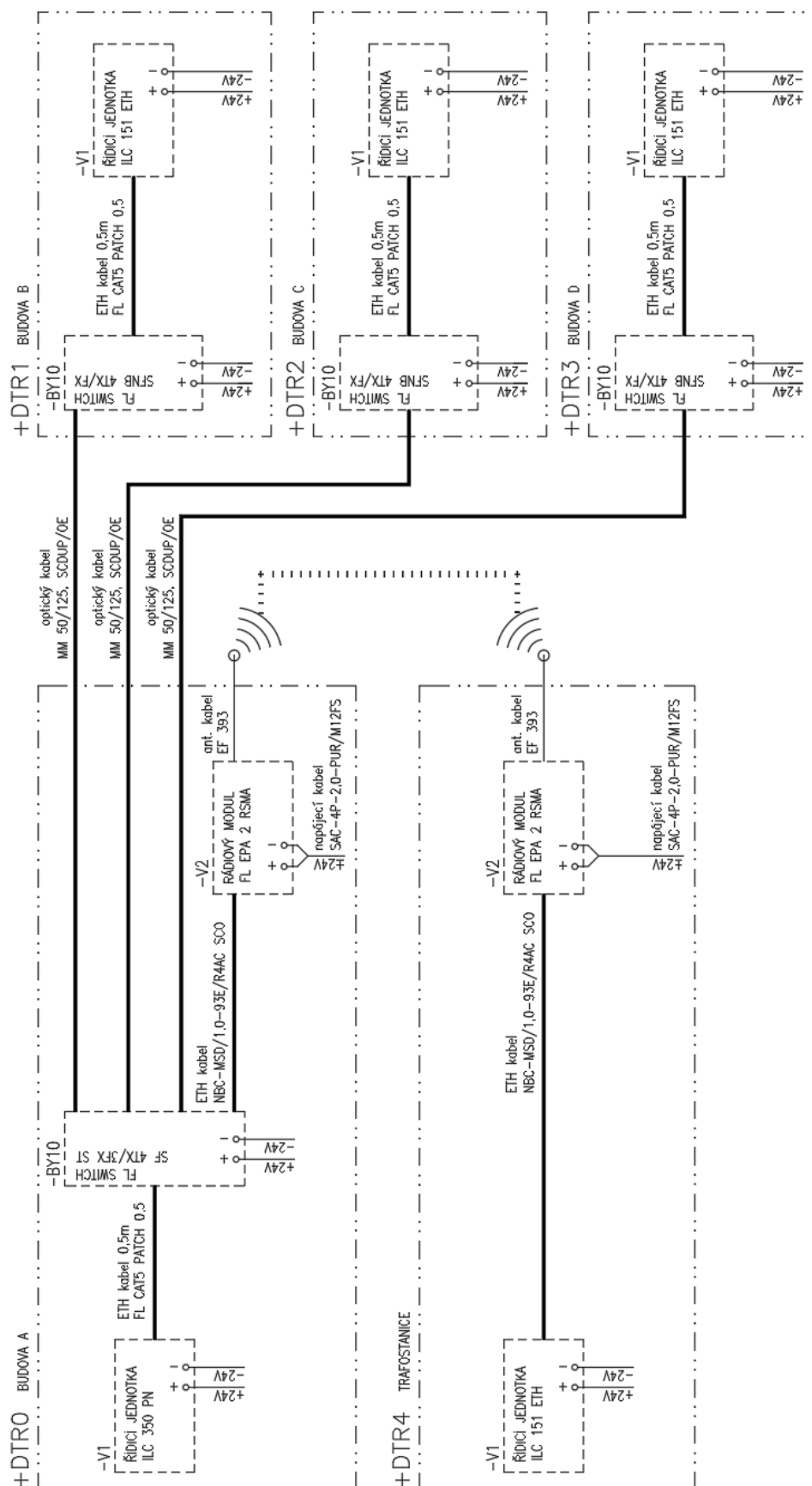
Obr. 5.9: Přenos dat dispečerského řízení

Datové kabely mohou být metalické, při maximální vzdálenosti 100 m, nebo optické. Optické kabely se dále dělí na vícevidové (multimode), které se používají do vzdálenosti 2 km a jednovidové (singlemode), které se používají při větších vzdálenostech (až desítky km). V mém případě, při maximální uvažované vzdálenosti 210 m je tedy využít optický kabel typu multimode.

Jelikož řídicí jednotky pracují s metalickými kabely, je při použití optických kabelů nutno tyto kabely přes převodník (switch) převést na kabely metalické.

Podrobněji je přenos dat, včetně přenášených povelů, signalizací a měření, rozkreslen v příloze XI - Přenos dat dispečerského měření.

Na obr. 5.10 je detailněji znázorněn přenos dat mezi jednotlivými skříněmi DTR



Obr. 5.10: Přenos dat mezi skříněmi DTR

5.8 Zhodnocení projektu

Celá výkresová část dokumentace, včetně technické zprávy, kabelové listiny, specifikace zařízení a výkazu výměr je přiložena v přílohách této diplomové práce.

Jelikož byl projekt realizován jako obecný návrh a nikoliv jako reálný projekt, tak jsem se snažil uvažovat více situací, které mohou nastat. Záměrně byl areál rozložen do více budov a komunikace mezi nimi řešena jak datovými kabely, tak bezdrátovým přenosem. S ohledem na délku datových kabelů větších než 100 m, jsem navrhl využít optických kabelů a tím i převodníků metalika/optika (switch).

Tento typový projekt lze použít jako návod (šablonu) při projektování dispečerského řízení lokálních zdrojů elektrické energie, kdy v přílohách jsou uvedeny i přesné typy elektrické výzbroje a kabelů. Mnou zvolené typy samozřejmě nejsou jedinou možností, ale mohou sloužit jako vodítko při výběru.

Metodika návrhu:

Životní cyklus projektu se dá rozložit do tří, případně čtyř fází.

1. Inicie (zahájení),
2. střední fáze (realizační),
3. ukončení (předávání).

Druhá fáze může být rozdělena na fázi plánování a fázi realizace.

Ve fázi zahájení je projekt zadán, určeny předmět a cíle projektu, provedena studie proveditelnosti a případně uzavřena smlouva. V mém případě je to zadání diplomové práce.

Ve střední fázi je provedena samotná realizace projektu, jeho řízení a kontrola, případně ještě předtím plánování. Já jsem postupoval podle zkušeností z již realizovaných projektů na podobné téma, tudíž jsem fázi plánování nepotřeboval. Při realizaci projektu jsem použil a doporučuji následný postup:

1. Zkreslení přehledového schéma napájení, kde jde vidět, jaká výzbroj je potřeba doplnit, případně vyměnit a je tedy součástí projektové dokumentace,
2. vynesení nově instalovaných rozvaděčů do půdorysů, případně řezů, je-li nutná větší názornost,
3. zkreslení schéma přenosu dat dispečerského řízení, kde jsou definovány jednotlivé přenášené informace,
4. nakreslení liniových schémat, včetně dispozic rozvaděčů,
5. vypracování kabelové listiny, specifikace zařízení, výkazu výměr a technické zprávy.

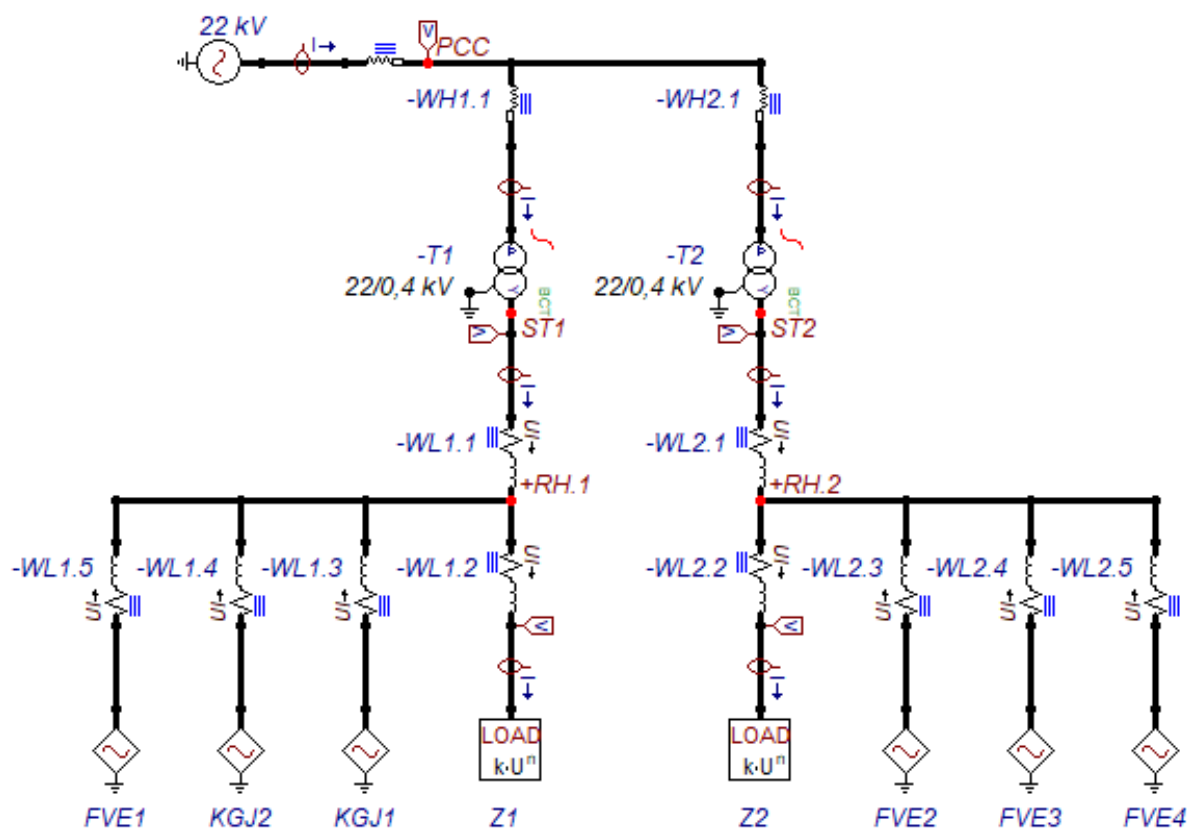
V ukončovací fázi je projekt ukončen, schválen, předán zadavateli, vyfakturován a následně archivován. V mém případě je to odevzdání diplomové práce.

6 Analýza zatížení transformátorů

Úkolem této kapitoly je analýza zatížení transformátorů pro možné případy dodávek energie z lokálních zdrojů.

K analýze byl použit program ATPDraw. Jedná se o grafické uživatelské rozhraní programu ATP-EMTP (Alternative Transients Program - Electromagnetic Transients Program), který je nejrozšířenějším programem pro digitální simulaci přechodných elektromagnetických a elektromechanických dějů v energetických systémech.

Navržené simulační schéma vychází z řešeného projektu a tvoří jej síť VN (22 kV), transformační vazba na hladinu NN (0,4 kV), zátěže a lokální zdroje energie.



Obr. 6.1: Simulační schéma

Jelikož součástí projektu pro dispečerské řízení není dodávka jednotlivých zdrojů a transformátorů, ani jejich připojení, tak jsou jedinými známými údaji příkony transformátorů a výkony lokálních zdrojů. Další údaje potřebné pro provedení analýzy je nutno specifikovat.

Pro analýzu byl uvažován základní provozní stav, což znamená, že účinník $\cos \varphi = 1$ a tím pádem není třeba uvažovat s jalovou složkou výkonu.

6.1 Nastavení obvodových prvků

V této podkapitole jsou specifikovány použité modely jednotlivých prvků a nastavení jejich parametrů v ATPDraw.

6.1.1 VN síť

VN síť 22 kV je ve schématu zastoupena napěťovým střídavým zdrojem (ACSOURCE) a její vnitřní impedance prvkem LINERL_3, u kterého je odpor a indukčnost v Ω , resp. mH na metr délky, jelikož se používá pro vedení/kabely. Toto je vyřešeno nastavením délky 1 m, tzn. je zadána skutečná hodnota odporu a indukčnosti sítě.

Hodnoty vnitřní impedance se vypočítají ze zkratového výkonu sítě. Dle normy ČSN EN 60909-0 ed.2, která řeší zkratové proudy ve trojfázových střídavých soustavách, má být tento výkon uveden příslušným rozvodným závodem. Pro potřeby analýzy byl zvolen zkratový výkon 200 MVA.

Pomocí vzorců z výše jmenované normy se vypočítá **zkratová impedance sítě**:

$$Z_Q = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k} = \frac{1,1 \cdot 22000^2}{200 \cdot 10^6} = \underline{2,662 \Omega} \quad (6.1)$$

kde	Z_Q	je zkratová impedance sítě,
	c	je napěťový součinitel (1,1 pro VN),
	U_n	je jmenovité napětí sítě,
	S_k	je zkratový výkon sítě.

Reaktance sítě:

$$X_Q = Z_Q \cdot 0,995 = 2,662 \cdot 0,995 = \underline{2,64869 \Omega} \quad (6.2)$$

Indukčnost sítě:

$$L_Q = \frac{X_Q}{2\pi f} = \frac{2,649}{100\pi} = \underline{8,431042 \text{ mH}} \quad (6.3)$$

Odpor sítě:

$$R_Q = X_Q \cdot 0,1 = 2,649 \cdot 0,1 = \underline{0,264869 \Omega} \quad (6.4)$$

Počáteční rázový zkratový proud:

$$I_k'' = \frac{S_k}{\sqrt{3} U_n} = \frac{200 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 22000} = \underline{5,249 \text{ kA}} \quad (6.5)$$

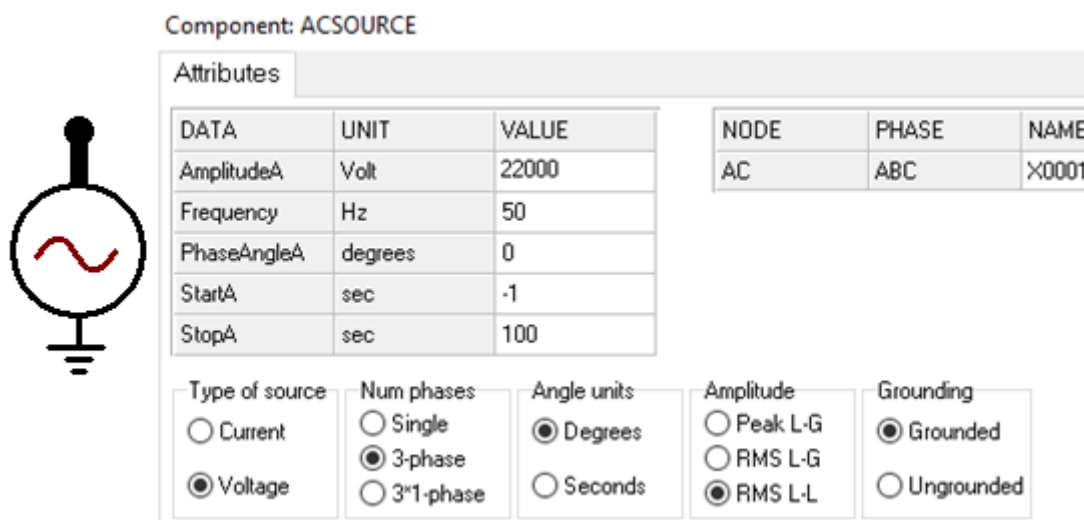
Ekvivalentní oteplovací proud:

$$I_{th} = k_e \cdot I_k'' = 1,02 \cdot 5,249 = \underline{5,354 \text{ kA}} \quad (6.6)$$

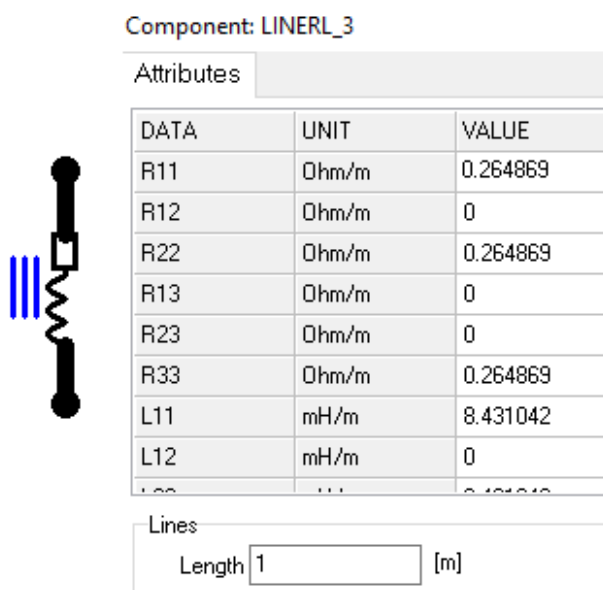
kde k_e je koeficient pro výpočet I_{th} (1,02 pro VN při době trvání zkratu $t_k = 0,5 \text{ s}$).

Tab. 6.1: Parametry sítě VN

Napětí (V)	Frekvence (Hz)	Fázový posuv (°)	Odpor (Ω)	Indukčnost (mH)	Poč. zkrat. proud (kA)	Oteplovací proud (kA)
22 000	50	0	0,264869	8,431042	5,249	5,354



Obr. 6.2: Vybraný prvek pro síť VN a nastavení jeho parametrů v ATPDraw



Obr. 6.3: Vybraný prvek pro vnitřní impedanci sítě a nastavení jeho parametrů v ATPDraw

6.1.2 Kabely VN

Pro VN kabely byl použit stejný prvek jako pro vnitřní impedanci sítě (LINERL_3). Jeho nastavení v ATPDraw je vidět na obr. 6.3.

Typ kabelů VN byl zvolen 22-AXEKVCEY. Aby mohl být správně nadimenzován, je potřeba vypočítat **minimální průřez vodiče**:

$$S_{\min} = \frac{I_{\text{th}} \sqrt{t_k}}{K} = \frac{5354 \sqrt{0,5}}{91} = \underline{41,6 \text{ mm}^2} \quad (6.7)$$

kde I_{th} je ekvivalentní oteplovací proud, viz rovnice (6.6)
 t_k je doba trvání zkratu (doba odpojení),
 K je materiálová konstanta (91 pro Al kabel s XLPE izolací)

S ohledem na výpočet minimálního průřezu byl zvolen kabel 22-AXEKVCEY 1x50/16. Při zadávání hodnot odporu a indukčnosti do ATP je nutné si dát pozor na jednotky, v katalogu jsou uvedeny na kilometr délky, ale v ATP se zadávají na metr délky.

Tab. 6.2: Parametry kabelů VN

Označení	Typ	Průřez (mm ²)	Odpor (Ω/km)	Indukčnost (mH/km)	Délka (m)	Zatížitelnost v zemi (A)
-WH1.1	22-AXEKVCEY	1x 50	0,641	0,46	8	172
-WH2.1	22-AXEKVCEY	1x 50	0,641	0,46	8	172

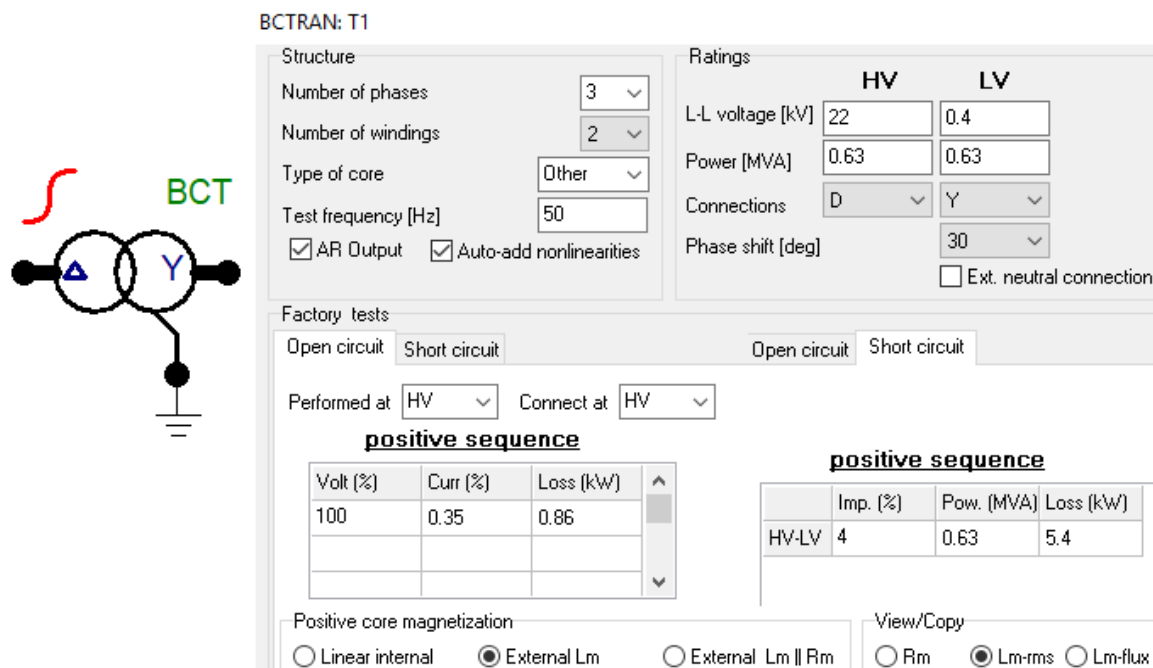
6.1.3 Transformátory

Transformátory jsou modelovány pomocí prvku BCTRAN, který umožňuje vygenerovat parametry na základě zadání jeho štítkových hodnot.

Byly zvoleny trojfázové dvouvinutové olejové transformátory BEZ TOHn 379/22 (-T1) a BEZ TOHn 359/22 (-T2).

Tab. 6.3: Parametry transformátorů

Označení	Jmenovitý příkon (kVA)	Primární napětí (kV)	Sekundární napětí (kV)	Sekundární proud (A)	Frekvence (Hz)
-T1	630	22	0,4	909,33	50
-T2	400	22	0,4	577,35	50
Označení	Účinnost (%)	Proud naprázdno (%)	Ztráty naprázdno (kW)	Napětí nakrátko (%)	Ztráty nakrátko (kW)
-T1	99	0,35	0,86	4	5,40
-T2	99	0,40	0,61	4	3,85



Obr. 6.4: Vybraný prvek pro transformátory a nastavení jeho parametrů v ATPDraw

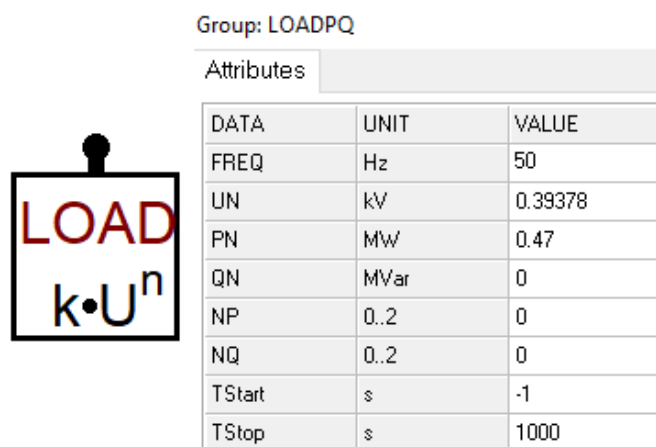
6.1.4 Zátěž

Jako zátěž byl použit prvek LOADPQ. S ohledem na úbytky napětí je u tohoto prvku důležité po provedení výpočtu snížit hodnotu napětí U_n tak, aby naměřený výkon korespondoval s nastaveným.

Hodnoty příkonů byly zvoleny tak, aby byly transformátory zatíženy cca na 75 %.

Tab. 6.4: Parametry zátěží

Označení	Frekvence (Hz)	Napětí (kV)	Příkon (kW)	Proud (A)
Z1	50	0,4	470	678,39
Z2	50	0,4	300	433,01



Obr. 6.5: Vybraný prvek pro zátěž a nastavení jeho parametrů v ATPDraw

6.1.5 Lokální zdroje

Pro lokální zdroje byl opět použit střídavý zdroj (ACSOURCE), ale tentokrát proudový. Při použití synchronního generátoru (prvek SM) pro kogenerační jednotky by analýza byla pravděpodobně o něco přesnější, ale jak již bylo řečeno, jedinými známými údaji u lokálních zdrojů jsou jejich výkony a tudíž by se nepovedlo přesně specifikovat hodnoty potřebné pro analýzu.


Jelikož jsou známy pouze výkony, je potřeba dopočítat proudy pro správné nastavení prvku dle rovnice (5.1). V čase 0,04 s, což odpovídá dvěma periodám, je nastaveno odpojení lokálních zdrojů pro větší názornost při analýze.

Tab. 6.5: Parametry lokálních zdrojů

Označení	Výkon (kW)	Napětí (kV)	Proud (A)	Frekvence (Hz)	Fázový posuv (°)
KGJ1	184	0,4	265,58	50	0
KGJ2	140	0,4	202,07	50	0
FVE1	30	0,4	43,30	50	0
FVE2	30	0,4	43,30	50	0
FVE3	35	0,4	50,52	50	0
FVE4	35	0,4	50,52	50	0

Component: ACSOURCE

Attributes



DATA	UNIT	VALUE
AmplitudeA	Ampere	265.58
Frequency	Hz	50
PhaseAngleA	degrees	0
StartA	sec	-1
StopA	sec	0.04

NODE	PHASE	NAME
AC	ABC	X0013

Type of source: ☒ Current ☐ Voltage

Num phases: ☐ Single ☒ 3-phase ☐ 3*1-phase

Angle units: ☒ Degrees ☐ Seconds

Amplitude: ☐ Peak L-G ☐ RMS L-G ☒ RMS L-L

Grounding: ☒ Grounded ☐ Ungrounded

Obr. 6.6: Vybraný prvek pro lokální zdroje a nastavení jeho parametrů v ATPDraw

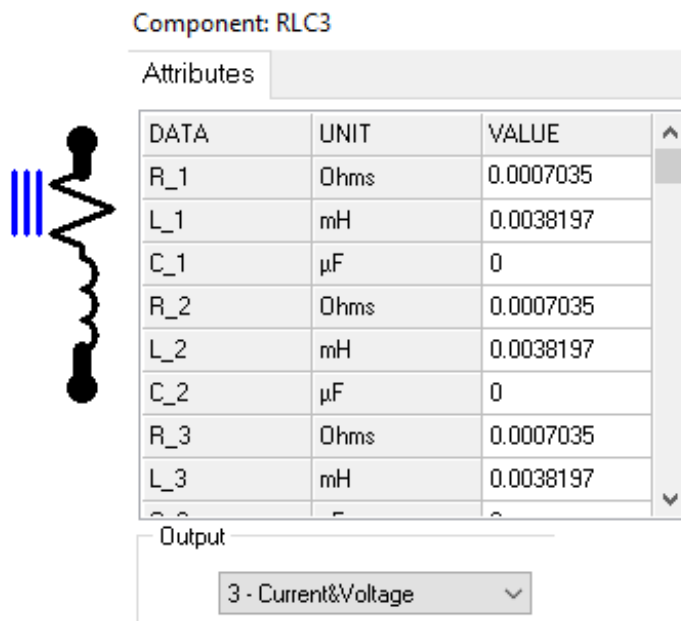
6.1.6 Kabely NN

Pro NN kabely byl použit prvek RLC. U tohoto prvku je nutno odpor a indukčnost zadávat již přepočítány na celou délku kabelu.

Typy kabelů NN byly zvoleny 1-AYY pro kabely od transformátorů a 1-CYKY pro zbylé kabely. Jejich přesný typ byl zvolen podle proudové zatížitelnosti. Jednotlivé dodávané/odebírané proudy viz tabulky 6.3, 6.4 a 6.5.

Tab. 6.6: Parametry kabelů NN

Označení	Typ	Průřez (mm ²)	Odpor (Ω/km)	Indukčnost (mH/km)	Délka (m)	Zatížitelnost v zemi (A)
-WL1.1	4x 1-AYY	1x 630	0,0469	0,2546	15	990
-WL1.2	2x 1-CYKY	4x 240	0,0754	0,2100	50	934
-WL1.3	1-CYKY	4x 120	0,1530	0,2240	25	324
-WL1.4	1-CYKY	4x 95	0,1930	0,2310	25	287
-WL1.5	1-CYKY	4x 10	1,8300	0,3020	50	83
-WL2.1	4x 1-AYY	1x 300	0,1000	0,2546	10	643
-WL2.2	1-CYKY	4x 240	0,0754	0,2100	50	467
-WL2.3	1-CYKY	4x 10	1,8300	0,3020	50	83
-WL2.4	1-CYKY	4x 10	1,8300	0,3020	50	83
-WL2.5	1-CYKY	4x 10	1,8300	0,3020	50	83

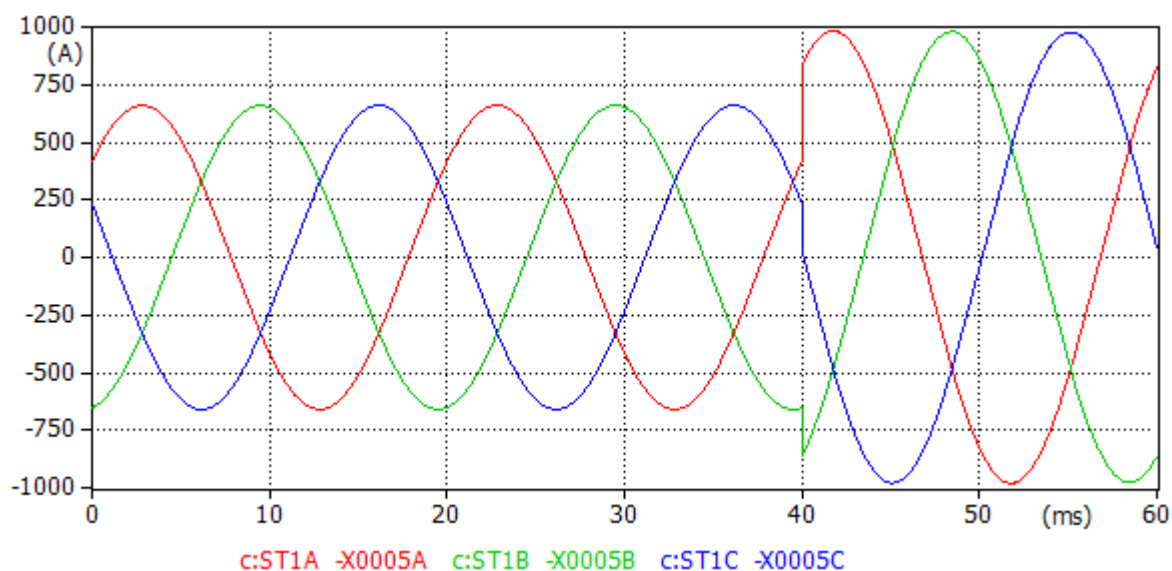


Obr. 6.7: Vybraný prvek pro NN kabely a nastavení jeho parametrů v ATPDraw

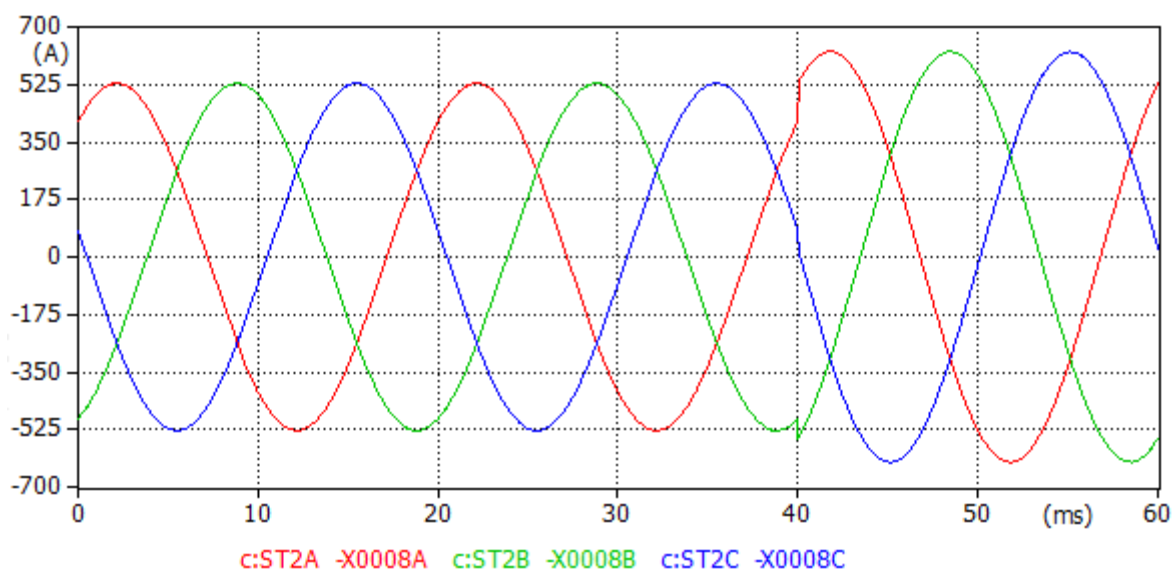
6.2 Výsledky

Analýza byla provedena pro ideální stav, tzn. výkon dodávaný FVE je roven uváděnému špičkovému výkonu 30 kWp, resp. 35 kWp. Reálně je výkon FVE většinou nižší a hlavně se mění v závislosti na denní době, např. v noci je výkon FVE nulový.

Zatížení bylo měřeno v bodech ST1 pro transformátor 1 a ST2 pro transformátor 2. Zatížení transformátorů při provozu bez dodávky energie z lokálních zdrojů je cca 75 %. Celková doba simulace je 0,06 s, což odpovídá třem periodám. Lokální zdroje jsou připojeny od začátku simulace a odpojeny v čase 0,04 s, což odpovídá dvěma periodám. Díky tomu je v grafech názorně vidět rozdíl v zatížení transformátorů při dodávce energie z lokálních zdrojů a bez této dodávky.



Obr. 6.8: Zatížení transformátoru 1 při 100% dodávce



Obr. 6.9: Zatížení transformátoru 2 při 100% dodávce

Na obrázcích 6.8 a 6.9 je vidět, že při odpojení lokálních zdrojů vzroste zatížení transformátorů. Stejně průběhy jsou i pro dodávku 30 % z FVE a 50 % z KGJ, resp. 60 % z FVE a 70 % z KGJ, akorát je menší rozdíl v zatížení.

Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.7, kde je zvýrazněno procentuální zatížení transformátorů. Např. při 100% dodávce energie z lokálních zdrojů je zatížení transformátoru 1, kde jsou instalovány zdroje o výkonu 324 kW, menší o 24,6 % než při provozu bez dodávky této energie, u transformátoru 2, kde jsou instalovány zdroje o výkonu 100 kW, je toto zatížení menší o 11,7 %.

Tab. 6.7: Zatížení transformátorů

Označení	Výkon zdrojů (%)	Max. proud (A)	Proud (A)	Výkon (kVA)	Zatížení (%)
-T1	0	974,55	689,11	477,429	76,5
	30 FVE / 50 KGJ	812,83	574,76	398,205	63,8
	60 FVE / 70 KGJ	748,10	529,00	366,502	58,8
	100	660,64	467,14	323,644	51,9
-T2	0	623,47	440,86	305,437	77,1
	30	594,18	420,15	291,088	73,5
	60	565,63	399,96	277,100	70,0
	100	528,43	373,66	258,879	65,4

7 Závěr

Cílem práce bylo vypracovat typový projekt dispečerského řízení lokálních zdrojů elektrické energie a analyzovat zatížení transformátorů pro možné případy dodávek energie z těchto zdrojů. Práce je rozdělena na 2 části. Teoretické uvedení do problematiky (kapitoly 3 a 4) a praktická část (kapitoly 5 a 6), která se věnuje samotnému návrhu projektu a analýze zatížení transformátorů.

Třetí kapitola se věnuje smyslu decentralizované výroby elektrické energie, popisu jednotlivých lokálních zdrojů, včetně jejich výhod a nevýhod a následně jejich shrnutí, z kterého je patrné, že nejde jednoznačně určit nejlepší nebo nejvýhodnější zdroj, jelikož záleží na mnoha aspektech, při jakých bude daná elektrárna provozována. V blízkosti vodních toků je výhodné využití vodních elektráren, v místech s velkou potřebou tepla (např. nemocnice) kogeneračních jednotek atd. Co se požadavků na umístění a dostupnosti týče, jsou nejvýhodnější volbou fotovoltaické elektrárny, které mohou být instalovány na střechy domů, případně do fasád a zasklení.

Ve čtvrté kapitole je popsán princip dispečerského řízení a uvedeny podmínky pro připojení lokálních zdrojů do distribuční soustavy. Následně jsou srovnány podmínky distributorů ČEZ a E.ON. Jelikož jsou tyto podmínky kladeny v souladu s platnými právními předpisy, PPDS a Nařízením Komise (EU) 2016/631, tak jsou tyto u obou distributorů velmi podobné. U požadavků na regulaci je rozdílem nastavení činného výkonu u elektráren jiných než fotovoltaických a větrných, kdy ČEZ u druhého nejvyššího stupně požaduje 75 % jmenovitého výkonu a E.ON 70 % jmenovitého výkonu. Další nepatrné rozdíly vznikají v požadavcích na zařízení distribuční techniky.

V páté kapitole je řešeno zhotovení projektu pro dispečerské řízení lokálních zdrojů elektrické energie. Jedná se o nové lokální zdroje (2x KGJ, 4x FVE) začleněné do stávajícího provozu. V práci jsou popsány potřebné úpravy, případně doplnění nových zařízení pro dispečerské řízení. Dále jsou popsány jednotlivé rozvaděče potřebné pro toto řízení a přenos dat mezi těmito rozvaděči. Součástí projektu je kompletní výkresová dokumentace (přehledové schéma napájení, půdorysy, schémata jednotlivých rozvaděčů, přenos dat a schéma pomocných obvodů kobky měření), technická zpráva, kabelová listina, specifikace zařízení a výkaz výměr. Veškerá dokumentace je přiložena v přílohách. V praxi by tato dokumentace sloužila pro provedení stavby.

Šestá kapitola se věnuje analýze zatížení transformátorů v programu ATPDraw. Jako první jsou popsány jednotlivé použité obvodové prvky včetně výpočtů potřebných pro jejich nastavení, následně jsou uvedeny výsledky simulace, které jsou vyneseny v přehledné tabulce.

Hlavním přínosem diplomové práce je zhotovení typového projektu, který lze použít jako návod (šablonu) při projektování dispečerského řízení lokálních zdrojů elektrické energie. Dalším přínosem je vcelku detailní popis nastavování některých obvodových prvků v ATPDraw, díky čemuž je možné provést jednodušší simulace.

Dalším vývojem tématu této práce by mohlo být zhotovení reálného projektu dle vypracovaného návrhu včetně zdokumentování skutečného provedení.

Literatura

- [1] ORAVOVÁ, M. *Obnovitelné zdroje energie (nejen) pro knihovny*. 1. vyd. Ostrava: Moravskoslezská vědecká knihovna v Ostravě, 2010. ISBN 978-80-7054-125-8.
- [2] *Decentrální výroba elektřiny je opět populární. Počet elektráren se za 100 let zvýšil šestkrát* [online]. 2018 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/6551.html>
- [3] *Decentrální výroba elektřiny* [online]. 2011 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?home/2011121402/decentralni-vyroba-elekriny>
- [4] MASTNÝ, P. - DRÁPELA, J. - MIŠÁK, S. a kol. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, ISBN 978-80-01-04937-2.
- [5] *Vodní elektrárny - mikro, malé i velké - druhy, principy, provedení* [online]. 2006 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006121301>
- [6] ŠÍPAL, J. *Obnovitelné zdroje energie*. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem, 2014. ISBN 978-80-7414-831-6.
- [7] KRÁTKÝ, M. - KULICHOVÁ, Z. - LIEDERMANN, P. a kol. *Centrální a decentrální výroba elektřiny a tepla* [online]. Brno, 2017 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://www.egubno.cz/wp-content/uploads/2018/03/EFEKT-centralni-a-decentralni-vyroba.pdf>
- [8] *Fotovoltaické elektrárny - princip funkce a součásti, elektrárny v ČR* [online]. 2016 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti/>
- [9] *Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny* [online]. [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [10] *Biomasa - využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR* [online]. 2017 [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody/>
- [11] *Jak funguje výroba energie z biomasy* [online]. [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/obnovitelne-zdroje/biomasa/flash-model-jak-funguje-vyroba-energie-z-biomasy.html>
- [12] *Bioplyn* [online]. [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/obnovitelne-zdroje/bioplyn.html>
- [13] *Větrné elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR* [online]. 2015 [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/typy-elekraren/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni/>
- [14] *Proč investovat do turbíny s vertikální osou?* [online]. [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://www.greenczech.cz/produkty/vawt-vetrna-elektrarna/vawt-gird-on-systemy/>
- [15] *O kogeneraci* [online]. [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <http://www.cezenergo.cz/cs/o-kogeneraci.html>
- [16] *Kogenerace - princip, technologie a výhody* [online]. 2015 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody/>

- [17] *Kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET, kogenerace)* [online]. [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <http://www.kombinovana-vyroba.cz/>
- [18] *Větrná elektrárna AP300* [online]. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <http://www.vetrne-elektrarny.eu/ap300/>
- [19] *Pravidla provozování DS - 2019* [online]. 2019 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds/ppds-2019.html>
- [20] *Dálkové dispečerské řízení* [online]. [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <http://www.ve-group.cz/produkty/dalkove-dispecerske-rizeni.html>
- [21] *Provozní instrukce* [online]. [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/prozakazniky/potrebuji-vyresit/provozni-instrukce.html>
- [22] *Technické informace k elektřině* [online]. [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://www.eon-distribuce.cz/technicke-informace-k-elektrine>
- [23] *Technické informace* [online]. [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/cs/distribucni-sit/technicke-informace/>
- [24] *Dispečerské řízení elektrických sítí* [online]. [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~dvorsky/MR/PrednaskyMR/Pred11/MRpr11DisspecerckeRizeni.pdf>
- [25] *Co označuje jednotka kWp?* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/chytra-domacnost/jak-vyuzivat-solarni-energii/co-oznacuje-jednotka-kwp>
- [26] *Předpisy a smlouvy pro elektřinu* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.eon-distribuce.cz/predpisy-smlouvy-pro-elektrinu>

Přílohy

Příloha I:	Technická zpráva	počet stran:	11
Příloha II:	Přehledové schéma napájení	formát: (297x630)	3x A4
Příloha III:	Půdorys trafostanice	formát: (A3)	2x A4
Příloha IV:	Trafostanice - kobka č.4	formát: (A3)	2x A4
Příloha V:	Budova A - KG jednotky	formát: (A3)	2x A4
Příloha VI:	Dispečerské řízení AXY01 - schéma	formát: (297x630)	3x A4
Příloha VII:	Rozvaděč ANU 24 VDC	formát: (A3)	2x A4
Příloha VIII:	Hlavní řídicí jednotka DTR0	počet stran:	17
Příloha IX:	Řídicí jednotka FVE - DTR1, DTR2, DTR3	počet stran:	7
Příloha X:	Řídicí jednotka trafostanice - DTR4	počet stran:	8
Příloha XI:	Přenos dat dispečerského řízení	formát: (297x630)	3x A4
Příloha XII:	Skříň R-DS (řízení KG jednotek Tedom)	formát: (A3)	2x A4
Příloha XIII:	Jednotka PVI-PMU (řízení FV systémů ABB)	formát: (A3)	2x A4
Příloha XIV:	TS - kobka měření AJA04		
	schéma pomocných obvodů a skříňka MXTV	počet stran:	6
Příloha XV:	Kabelová listina a specifikace zařízení	počet stran:	9
Příloha XVI:	Výkaz výměr	počet stran:	9